



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ**

INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

**ZAŘÍZENÍ NA SVÁŘENÍ FILAMENTU PRO 3D TISK**

A DEVICE FOR WELDING 3D PRINTING FILAMENT

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Lukáš Roden**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. Martin Krčma**

**BRNO 2021**



## Zadaní bakalářské práce

Ústav: Ústav konstruování  
Student: **Lukáš Roden**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Základy strojního inženýrství  
Vedoucí práce: **Ing. Martin Krčma**  
Akademický rok: 2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### Zařízení na sváření filamentu pro 3D tisk

#### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V poslední době začíná růst povědomí o problémech způsobených množstvím vyprodukovaného plastového odpadu. O 3D tisku se mluví jako o způsobu redukce množství odpadu, ale realita v tiskařských dílnách často bývá jiná. Jedním z typických odpadů vyprodukovaných při 3D tisku jsou zbytky materiálu na cívkách, nedostatečné pro další tisk. Proces výměny materiálu během tisku není spolehlivý a většina uživatelů se tomuto kroku snaží vyhnout.

Typ práce: vývojová – konstrukční

**Cíle bakalářské práce:**

Cílem bakalářské práce je návrh a realizace zařízení které slouží ke spojení dvou 3D tiskových strun – filamentů za pomoci svaření a to v dostatečné kvalitě aby vzniklý filament byl použitelný pro 3D tiskárny s přímým pohonem extruderu. Zařízení může být manuální nebo automatické.

Dílčí cíle bakalářské práce:

- provést rešerši zaměřující se na možnou podobu a princip zařízení,
- ověření principu pomocí experimentu/výpočtu a získání parametrů pro návrh,
- návrh zařízení pro obě používané tloušťky 3D tiskové struny, – realizace zařízení a ověření jeho funkce.

Požadované výstupy: průvodní zpráva, výkresy součástí, výkres sestavení, fotografická dokumentace, digitální data.

Rozsah práce: cca 27 000 znaků (15 – 20 stran textu bez obrázků).

Časový plán, struktura práce a šablona průvodní zprávy jsou závazné:

<http://www.ustavkonstruovani.cz/texty/bakalarske–studium–ukonceni/>

**Seznam doporučené literatury:**

KOSKY, P., G. WISE, R. BALMER, W. KEAT. Exploring Engineering: An Introduction for Freshman to Engineering and to the Design Process, Elsevier 2006, ISBN 978-0-12-369405-8.

SHIGLEY, J. E., C. R. MISCHKE, R.G. BUDYNAS, M. HARTL a M. VLK. Konstruování strojních součástí. V Brně: VUTUM, 2010, xxv, 1159 s. : il. ; 26 cm. ISBN 978-80-214-2629-0.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.  
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá svářením filamentů do 3D tiskáren. Při tisku často zbývá část filamentu, pro kterou už není využití díky její malé délce. V této práci je řešena konstrukce zařízení ke spojování těchto zbytků struny, popřípadě i delších kusů. V první části je vytvořena rešerše zabývající se typy 3D tiskáren, materiálem tiskových strun a problematice procesu svaření. Ve druhé části je využito načerpaných poznatků k vytvoření vlastního návrhu zařízení. Zahrnuje rozbor použitelnosti jednotlivých materiálů a návrhů konstrukce. V poslední části je řešeno konkrétní konstrukční řešení jednotlivých komponent.

## KLÍČOVÁ SLOVA

svaření, filament, 3D tisk

## ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with filament welding in 3D printers. During the print, there is often an extra part of the filament, that can be no longer used due to its small length. In this thesis I deal with the equipment construction for connecting these remnants of the cord or even longer pieces. In the first part is a search which deals with types of 3D printers, material of filaments and the issue of the welding process. In the second part, the acquired knowledge is used to create your own device design. More precisely, the analysis of the usability of individual materials and construction designs. In the last part I deal with a specific form solution of individual components.

## KEYWORDS

welding, filament, 3D printing



## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

RODEN, Lukáš. *Zařízení na sváření filamentu pro 3D tisk* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-05-13]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/133009>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav konstruování. Vedoucí práce Martin Krčma.





## PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval své rodině za trpělivost i podporu a také své přítelkyni za pomoc při focení a úpravě fotek. Dále bych chtěl poděkovat vedoucímu práce Ing. Martinu Krčmovi za cenné rady, ochotu a věnovaný čas.

## PROHLÁŠENÍ AUTORA O PŮVODNOSTI PRÁCE

Prohlašuji, že diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, pod odborným vedením Ing. Martina Krčmy. Současně prohlašuji, že všechny zdroje obrazových a textových informací, ze kterých jsem čerpal, jsou řádně citovány v seznamu použitých zdrojů.

.....

Podpis autora

<b>ZAŘÍZENÍ NA SVÁŘENÍ FILAMENTU PRO 3D TISK .....</b>	<b>3</b>
<b>ABSTRAKT .....</b>	<b>5</b>
<b>KLÍČOVÁ SLOVA.....</b>	<b>5</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>5</b>
<b>KEYWORDS .....</b>	<b>5</b>
<b>BIBLIOGRAFICKÁ CITACE .....</b>	<b>7</b>
<b>PODĚKOVÁNÍ.....</b>	<b>9</b>
<b>PROHLÁŠENÍ AUTORA O PŮVODNOSTI PRÁCE .....</b>	<b>9</b>
<b>1 ÚVOD .....</b>	<b>12</b>
<b>2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ.....</b>	<b>13</b>
2.1 HISTORIE 3D TISKU .....	13
2.2 TISKÁRNÍ FDM .....	14
2.2.1 Kartézské.....	14
2.2.2 Delta.....	14
2.2.3 Polar.....	14
2.2.4 Scara .....	15
2.3 MATERIÁLY POUŽÍVANÉ V FDM 3D TISKU .....	15
2.3.1 PLA.....	15
2.3.2 PETG/PET .....	15
2.3.3 ABS.....	16
2.3.4 ASA.....	16
2.3.5 Flex.....	16
Souhrn .....	16
2.4 PORUCHY PŘI TISKU VZTAŽENÉ K FILAMENTU .....	17
2.4.1 Ucpaná tryska .....	17
2.4.2 Docházející materiál .....	17
2.4.3 Špatná volba materiálu .....	18
2.5 CHYBY PŘI SVAŘOVÁNÍ FILAMENTŮ .....	18
2.5.1 Svařování různých materiálů .....	18
2.5.2 Špatný průměr svařené oblasti.....	18
2.6 VLASTNOSTI SVAŘENÉ OBLASTI .....	19
2.7 MECHANICKÉ SVÁŘECÍ ZAŘÍZENÍ DOSTUPNÉ NA TRHU .....	19
2.7.1 PTFE trubička.....	19
2.7.2 Svářeč filamentů od firmy BIQU .....	19
2.7.3 Svářecí kleště.....	21
2.8 ELEKTRONICKÉ SVÁŘECÍ ZAŘÍZENÍ DOSTUPNÉ NA TRHU .....	22
2.8.1 Palette od firmy Mosaic .....	22
<b>3 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE.....</b>	<b>23</b>
3.1 ANALÝZA PROBLÉMU .....	23
3.1.1 Jednoduché vyjmutí struny.....	23

3.1.2	<i>Použití pro oba standardní průměry filamentů.....</i>	23
3.1.3	<i>Úpravy podavače.....</i>	23
3.1.4	<i>Navržení topného tělesa.....</i>	23
3.1.5	<i>Elektronika .....</i>	24
3.2	<b>CÍL PRÁCE.....</b>	24
<b>4</b>	<b>KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ.....</b>	<b>25</b>
4.1	PODAVAČ.....	26
4.2	VODÍCÍ MECHANISMUS.....	27
4.3	TAVNÉ TĚLESO.....	29
4.3.1	<i>Uchycení tavného tělesa do rámu .....</i>	30
4.3.2	<i>Uchycení tavného tělesa do pohyblivého ramena.....</i>	31
4.3.3	<i>Materiál tavného tělesa .....</i>	31
4.3.4	<i>Velikost a tolerance děr.....</i>	32
4.3.5	<i>Ohřev tělesa.....</i>	33
4.4	CHLAZENÍ.....	34
4.5	STOJAN + RAMENO.....	35
4.6	ELEKTRONIKA.....	35
<b>5</b>	<b>KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ.....</b>	<b>37</b>
5.1	PODAVAČ.....	37
5.1	VODÍCÍ MECHANISMUS.....	40
5.2	TAVNÉ TĚLESO.....	41
5.2.1	<i>Výpočet času potřebného k ohřátí tavného tělesa.....</i>	43
5.3	RAMENO .....	44
5.4	STOJAN .....	44
5.5	ELEKTRONIKA.....	45
5.5.1	<i>Výpočet potřebného výkonu zdroje .....</i>	45
5.5.2	<i>Zapojení.....</i>	46
5.6	FIRMWARE.....	46
5.6.1	<i>Návrh funkce.....</i>	46
<b>6</b>	<b>DISKUZE .....</b>	<b>48</b>
<b>7</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>52</b>
<b>8</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....</b>	<b>53</b>
<b>9</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN .....</b>	<b>56</b>
9.1	PŘÍKLADY POUŽITÝCH FYZIKÁLNÍCH VELIČIN.....	56
9.2	PŘÍKLADY POUŽITÝCH ZKRATEK.....	57
<b>10</b>	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ.....</b>	<b>58</b>
<b>11</b>	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>59</b>
<b>12</b>	<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>60</b>

# 1 ÚVOD

V poslední době se více a více rozšiřuje technologie 3D tisku. Hlavním důvodem je jeho aplikovatelnost v kutilském prostředí a stejně tak na malosériovou výrobu, popřípadě prototypování. 3D tiskárny jsou okamžitě schopny během okamžiku přepnout z výroby jednoho objektu na zcela jiný, a to jak složitý, tak jednoduchý. Úžasný vynález, který může ve správných rukou ulehčit život mnoha lidem a stejně tak využít kreativity kutilů.

Materiál do 3D tiskáren typu FDM je většinou dodáván formou plastového vlákna neboli filamentu, které je namotáno na cívky. Častým problémem při tisku může být nedostatek filamentu pro vytvoření celého objektu. Jedním z řešení je čekat, dokud vlákno nedojde a poté ho vyměnit za nové. Druhá možnost je poněkud časově šetrnější, a to svařit dva kusy vlákna před tiskem. Na internetu jsou k dispozici návody, jak vlákna svařit, popřípadě se na trhu prodávají kleště nebo přípravky ulehčující proces svaření. Některá z těchto zařízení poskytují dostatečnou spolehlivost a opakovatelnost celého procesu, ale nejsou lehce dostupné. Tyto problémy mě přiměly k vytvoření zařízení, které bude schopno svařit strunu spolehlivě a zároveň bude jednoduché na obsluhu.

Jako vlastník 3D tiskárny jsem často zažil strasti s nedostatkem filamentu. Zkoušel jsem různé způsoby amatérského spojení vlákna, naneštěstí se mi žádný z nich nikdy neosvědčil, takže sám za sebe můžu říct, že toto zařízení bude mít využití jak u mě, tak potenciálně i u tiskařské komunity.

Ačkoliv se na první pohled může zdát něco takového jako poměrně jednoduchý úkol, nebylo tomu vždy tak. Vytváření celého projektu doprovázelo mnoho dílčích problémů. Jedním z nich byla snaha o automatizaci celého procesu, při které by se zaručil co nejlepší svár, podle znalostí získaných při rešerši. Celé zařízení je konstruováno na základě těchto nově získaných znalostí a také mých zkušeností coby tiskaře.

## 2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

3D tisk je aditivní proces, který vytváří fyzický 3D objekt pomocí digitální předlohy.[1] Technologii 3D tisku je více druhů jako například SLS (Selektivní laserové spékání), SLA (Stereo-litografie), nejznámější z nich je však FDM (Fused deposition modeling). [2] Každá z těchto technologií má své výhody a nevýhody, proto je důležité zvážit, kterou si zvolíme. U tiskáren typu FDM objekt vzniká natavením plastového vlákna po jednotlivých vrstvách. Tyto vrstvy je potřeba vytvořit ve speciálním programu, který model „rozkrájí“ na jednotlivé vrstvy, ze kterých následně vytvoří kód pro tiskárnu.[1] Díky rozšíření 3D tisku se ceny tiskáren každým dnem snižují a zároveň přibývá na internetu volně stažitelných modelů i pro ty, kdo nechtějí nebo neumějí modelovat své vlastní.

### 2.1 Historie 3D tisku

Dříve patřil 3D tisk mezi technologie Rapid prototyping (rychlá výroba prototypů). [1] Pro výrobu prototypů se samozřejmě používá hojně dodnes, a to obzvlášť díky možnosti změnit výrobu jednoho dílu za jiný v podstatě okamžitě, když nepočítáme nutnou přípravu modelu a tiskárny. Dobrý příklad využití Rapid prototyping může být vytvoření ergonomických rukojetí. Než se pošle daná rukojeť do sériové výroby, vytvoří se několik prototypů pomocí 3D tisku. Vybere se ta nejlepší a může jít do výroby. Díky tomuto se povedlo předejít možné chybě. V dřívějších dobách byly ceny tiskáren samozřejmě vyšší, ale i tak se v mnohých případech se do nich vyplatilo zainvestovat.[1] V dnešní době již může tiskárnu vlastnit prakticky kdokoli.

Jedním z nejdůležitějších milníků v oblasti 3D tisku je rok 2005. V tomto roce byl doktorem Adrianem Bowyerem založen projekt RepRap. [1] Podstatou tohoto projektu bylo navrhnout tiskárnu, která by si zvládla vytisknout co nejvíce svých komponent. [1] Od počátku byl tento projekt pod licencí open source (vše bylo zdarma přístupné a modifikovatelné), díky tomuto se našly spousty nadšenců, kteří tento projekt posunuli dál. [1] Dnes většina tiskáren, v oblasti hobby, i některých firem je právě typu RepRap. Na internetu je mnoho fór a skupin na sociálních sítích, kde se řeší stále nová vylepšení těchto tiskáren.

## 2.2 Tiskárny FDM

Tiskárny typu FDM mají vícero variací. Každá z nich je ideální pro určitý model. Ve většině případů používají filament navinutý na cívkách. Některé z nich jsou principiálně jednoduché, některé složitější, jak už z hlediska konstrukce, tak z hlediska programování pohybu tiskové hlavy. Obecně nejméně uživatelsky náročné jsou tiskárny kartézského typu, dále delta tiskárny. Scara a tiskárny polárního typu, bývají méně časté, i když mají určité své přednosti.

### 2.2.1 Kartézské

Pracují na principu pohybu ve 3 lineárních navzájem kolmých osách X, Y, Z. Jsou uživatelsky nejpřijatelnější. Mají nízkou pořizovací cenu, jednoduché ovládaní a případnou údržbu či opravu. Pro lineární vedení mohou být použity buď kolejnice nebo vodící tyče. Obě provedení mají své výhody a nevýhody. Tisková hlava se většinou pohybuje ve směru X a Z. V takovém případě může být nevýhodné použít extruder s přímým pohonem kvůli větší hmotnosti krokového motoru, tím pádem menšímu zrychlení a většímu náporu řemen a motor osy X. [3]

### 2.2.2 Delta

Jako druhý typ je potřeba zmínit také dost rozšířené delta tiskárny. Stejně jako předešlé, také pracuje v kartézském systému, avšak rozdíl je v systému pohybu a umístění tiskové hlavy. Tisková hlava je uchycena na 3 ramenech. Tato ramena se mohou nezávisle pohybovat vertikálně, díky jejich lineárnímu uložení. Poloha tiskové hlavy je determinována úhly, jež svírají konkrétní úhel s vertikální konstrukcí lineárního vedení. Úhly jsou následně programem vyhodnoceny pomocí goniometrických funkcí. [3]

### 2.2.3 Polar

Jak už napovídá název, bude se jednat o konstrukci ve spojitosti s polárními souřadnicemi. Celý princip této tiskárny je velice jednoduchý. Tiskárna disponuje rotační tiskovou deskou a ramenem s tiskovou hlavou, které se pohybují lineárně ve dvou osách a to vertikální (Z) a horizontální (Y). [4] Tímto pohybem se dosáhne výborné kvality například u rotačních objektů. Problém nastává s modely, jež mají jiný než rotační tvar, proto tento typ není u uživatelů tak častý.

## 2.2.4 Scara

Jde o tiskárny ve smyslu využití robotických ramen. Na robotické rameno je umístěna tisková hlava, ta následně tiskne na podložku. Takovýto typ tiskárny pak může mít tolik os pohybu, kolika disponuje robotické rameno. Právě to je velikou výhodou, jelikož je možno tisknout u složité objekty s relativně velkou přesností. Scara tiskárny jsou stále v ranném vývoji, ale je možné, že se časem objeví v mnoha odvětvích. [4]

## 2.3 Materiály používané v FDM 3D tisku

V odvětví tiskáren FDM jsou tiskovým materiálem plastové struny navinuté na cívkách. V dnešní době může člověk vybírat z celé škály materiálů a barev. K dispozici jsou standardní plasty jako je PLA, ABS, PETG, popřípadě plasty obsahující příměsi dřeva, kovů, dokonce i s karbonovým vláknem. Každý materiál má své specifické vlastnosti, jak mechanické, chemické, tak i fyzikální. Je proto důležité zamyslet se nad materiálem, který hodláte použít na váš výtisk.

### 2.3.1 PLA

PLA neboli kyselina polymlečná je uváděn jako jeden z nejekologičtějších plastů. Hlavní surovinou pro výrobu je biomasa z rostlin. [5] Většina tiskařů volí PLA pro jeho jednoduchý tisk. Díky své nízké teplotní roztažnosti je možné tisknout i rozměrné díly beze strachu o možnou deformaci objektu. Patří mezi tvrdé a tím pádem i křehké materiály s nízkou teplotou tání. [6] Není vhodný pro použití do teplot nad 50 stupňů Celsia.

### 2.3.2 PETG/PET

Chemický název Polyethylentereftalát, upravená verze s „G“ znamená modifikovaný glykol. [6] Samotné PET bez glykolu je velmi těžké na tisk, ucpává trysku, vyžaduje vysoké teploty atd. [15] Avšak PETG má mnohem lepší vlastnosti. Je pružnější a pevnější než PLA a také teplotně stálější. Má relativně dobrou pevnost mezi vrstvami oproti ABS a ASA. Problémem může být těžší tisk kvůli vytváření tenkých vláken při přejezdech během tisku. [6] Ty lze snadno odstranit nastavením v nářezového programu (sliceru) pomocí vhodných retrakcí, popřípadě je mechanicky odstranit.

### 2.3.3 ABS

ABS (Akrylonitrilbutadienstyren) spadá mezi obtížně tisknutelné plasty. Má velkou teplotní roztažnost, tím pádem podložka musí být vyhřívána na teploty až kolem 100 stupňů Celsia. Dále je výhodou uzavřený box kolem tiskárny, aby se zamezilo průvanu. Dalším problémem mohou být výpary, které materiál během tisknu vypouští, proto je doporučeno během tisknu větrat. Na druhou stranu ABS je vysoce teplotně odolné (možné použití v interiéru automobilů). Oproti ostatním materiálům je také levnější. Pro představu Lego je právě z tohoto materiálu, takže je opravdu pevný. [6] Použití ABS je velmi rozšířené například ve stavebnictví, automobilovém průmyslu, ve strojírenství a také při stavbě lodí. [23]

### 2.3.4 ASA

Akrylonitril-styrén-akrylát má velice podobné vlastnosti jako ABS. Výhodou je jeho větší odolnost vůči vyšším teplotám a také UV záření.[6] Nicméně je podobně obtížný na tisk jako již zmíněné ABS. Pro menší pravděpodobnost zkroucení na podložce je dobré použít v nastaveních programu funkci límec, která vytvoří na první vrstvě okraj napomáhající adhezi.

### 2.3.5 Flex

Velmi silný a pružný materiál. Je vysoce otěruvzdorný a zachovává si svou pružnost i za nízkých teplot. Při vychladnutí se model nesmršťuje, takže si zachovává své přesné rozměry. Jeho možné použití je například u pneumatik RC modelů nebo krytů na mobil. [6]

## Souhrn

Níže je uvedena tabulka s informacemi, k již zmíněným, ale i dalším materiálům. Teplotní odolnost je vyjádřena teplotou, při které se testovaný objekt prohne při zatížení 450 kPa. V tabulce jsou uváděny údaje v intervalech nebo průměrné z důvodu heterogenity materiálů. Vlastnosti může ovlivnit jak barva, tak i nepatrně jiné složení. [26]



Materiál	Teplota trysky (°C)	Teplota podložky (°C)	Teplotní odolnost (°C)	Rázová houževnatost(kJ/m <sup>2</sup> )	Odolnost v tahu (MPa)
PLA	210-215	60	50-55	15-30	41-65
PETG	240-270	90	68-78	34-79	37-51
ASA	260-265	95-110	90	25-44	34-42
ABS	240-255	110	81-97	21-32	36-47
HIPS	220	220	-	-	-
Flex	230-260	50-85	50-64	-	8-25
Nylon	250	90	76	-	27

Tab. 2-1 Vlastnosti některých typů materiálu. [26]

## 2.4 Poruchy při tisku vztažené k filamentu

### 2.4.1 Ucpaná tryska

U klasických materiálů jako je PLA, ABS, PETG není tento jev příliš častý, ale stát se samozřejmě může. Příčin tohoto problému může být několik. Například znečištěná struna, na které se usadil prach a různé nečistoty, tyto nečistoty se mohou nahromadit a ucpat tak trysku. U materiálu jako PET se tryska může ucpat i když v ní je materiál příliš dlouho nahřátý. [27]

### 2.4.2 Docházející materiál

Mnoho tiskáren i v dnešní době není opatřeno senzorem na snímání filamentu. Tento senzor může být jak mechanický, tak optický a zajišťuje průběh tisku jen tehdy, když se nachází v extruderu filament. Bez senzoru nebo při jeho špatné funkci bude tiskárna dále tisknout bez materiálu neboli naprázdno. [27]

### 2.4.3 Špatná volba materiálu

Jelikož máme 2 základní typy extruderů přímý a bovdenový. U přímého extruderu je motor s posuvovým mechanismem umístěn přímo nad chladičem s tryskou, díky tomuto zvládá tisk flexibilních materiálů na úkor větší hmotnosti tiskové hlavy. Oproti tomu u bovdenové provedení extruderu je motor s posuvným mechanismem umístěn mimo tiskovou hlavu, například na pevné konstrukci tiskárny, a poté PTFE (polytetrafluoretylen) trubičkou veden do chladiče s tryskou. Díky vzdálenosti extruderu a tiskové hlavy u bovdenového provedení není u pružnějších materiálů vyvinut dostatečný tlak, aby byly dobře protlačeny tryskou. [28]

## 2.5 Chyby při svařování filamentů

### 2.5.1 Svařování různých materiálů

Obecně vzato není dobrý nápad svařovat různé typy materiálů. Každý z materiálů má jiné jak chemické, tak mechanické vlastnosti. Jedním z nejzávažnějších faktorů je rozdílná tepelná roztažnost, díky které se materiály od sebe odtrhnou (i při tisku).

### 2.5.2 Špatný průměr svařené oblasti

U svaru je důležitý jeho průměr. Příliš velký průměr může způsobit zaseknutí filamentu v extruderu, z čehož plyne zničený celý tisk, nebo naopak díky malému průměru nemusí mít podávací kolečko dostatek materiálu k záběru struny. Toto může vést k protáčení kolečka, odebrání materiálu ze struny a pohyb podávacího systému na prázdno. K zabezpečení spolehlivého tisku zajišťují výrobci úchylny  $\pm 0,05\text{mm}$  jak u vlákna průměrů 1,75 milimetru, tak i 2,85 milimetru. Nekonzistentní průměr filamentu také ovlivňuje kvalitu tisku. Méně materiálu znamená, že výtisk bude méně pevný a budou v něm opticky viditelné vady. Naopak více materiálu sice znamená pevnější tisk, ale zároveň horší přesnost otvorů a různých prvků výtisku.

## 2.6 Vlastnosti svařené oblasti

Termoplasty jsou plasty, které jsou tavitelné teplem. Při recyklaci se termoplasty roztaví, a to negativně ovlivní jejich strukturu. Dochází k rozpadu řetězců, a tedy ke zhoršení vlastností. [7] Průchod nažhavenou tryskou je možné přirovnat k recyklaci, takže jak tiskem, tak svařováním struny dochází k degradaci materiálu. Z toho plyne, že je potřeba svařovat struny co nejšetrněji, a tedy správnou teplotou, a ne příliš dlouhou dobu. Každý výrobce má u své cívky napsány doporučené teploty. Oblast svaru u plastu je svým chováním podobná svaru u kovů. Při rychlém ochlazení může dojít k pnutí a prasknutí spoje. Stejně tak spoj je křehčí než ostatní materiál.

## 2.7 Mechanické svářecí zařízení dostupné na trhu

### 2.7.1 PTFE trubička

Jednou z nejjednodušších možností spojení dvou filamentů je nahřátí PTFE trubičky. Do trubičky vložíme oba konce struny (kolmo uřezané) a poté nahřejeme. Můžeme nahřát buď zapalovačem, nebo jiným zdrojem tepla. Po přibližně pěti sekundách vlákno alespoň 2x zatlačíme a potáhneme. Nevýhodou této metody je možná křehkost spoje kvůli neregulované teplotě. Musíme také celou délku struny protáhnout trubičkou, což může být nepraktické u delších částí strun. Na druhou stranu PTFE trubička je věc, kterou má většina majitelů 3D tiskárny doma, tím pádem nemusí vynakládat prostředky na výrobky určené ke svaření. Diskutabilní je úroveň kvality sváru, ale po pár pokusech se i s tímto aparátem dá filament svařit. [29]

### 2.7.2 Svářeč filamentů od firmy BIQU

Tento výrobek je určený ke svaření 3D tiskových strun za pomoci zdroje ohně (zapalovače). Postup je následovný. Odřízněte konce filamentu co nejvíc kolmo. Jeden konec prochází ze směru, kde je svářečka širší až ke značce. Druhý konec z druhé strany, do vnitřní odkryté části by mělo vyčnívat 1 až 2 milimetry. Podržte oheň zapalovače 5 až 7 sekund nad odkrytou částí. (Pro PLA, ABS, PETG pro jiné je třeba odzkoušet). Poté zatlačte vlákno z užšího konce do otvoru v širší části. Následně táhněte tam a zpět. Jakmile je vlákno dostatečně ochlazené, protáhněte strunu užším koncem. Jemně obruste spoj, popřípadě oškrabte nožem. Kvalitu spoje vyzkoušíte ohnutím a následným narovnáním 2x po sobě. Pokud uslyšíte ostrý zvuk (lom) musíte svařovat znova. Pokud máte delší strunu, odšroubujte šrouby na součásti a vyjměte strunu. [8]

Produkt je jednoduchý na výrobu i na použití. Je zde možnost svařování i delších strun bez nutnosti protažení struny celým výrobkem. Má však řadu nevýhod. Zaprvé nahřívání ohněm je nejen primitivní, ale i negativně ovlivňuje vlastnosti svařované oblasti. Dále se proces spojování v mnoha případech nevydaří. Nahřátá struna je velice plasticky deformovatelná, takže má tendence se kroutit a vybočit mimo díru, ve které probíhá spojení.

Zapalovač dokáže vyvinout teplotu až 750 stupňů Celsia. [16] Jak jsem již výše uváděl, pro termoplasty je ideální teplota na svařování obecně kolem 200 stupňů Celsia. Díky tomu dochází k degradaci materiálu a nárůstu křehkosti. Zároveň nahřívání ohněm není bezpečné. Při neopatrném zacházení v blízkosti hořlavých látek může dojít k požáru nebo k popáleninám.

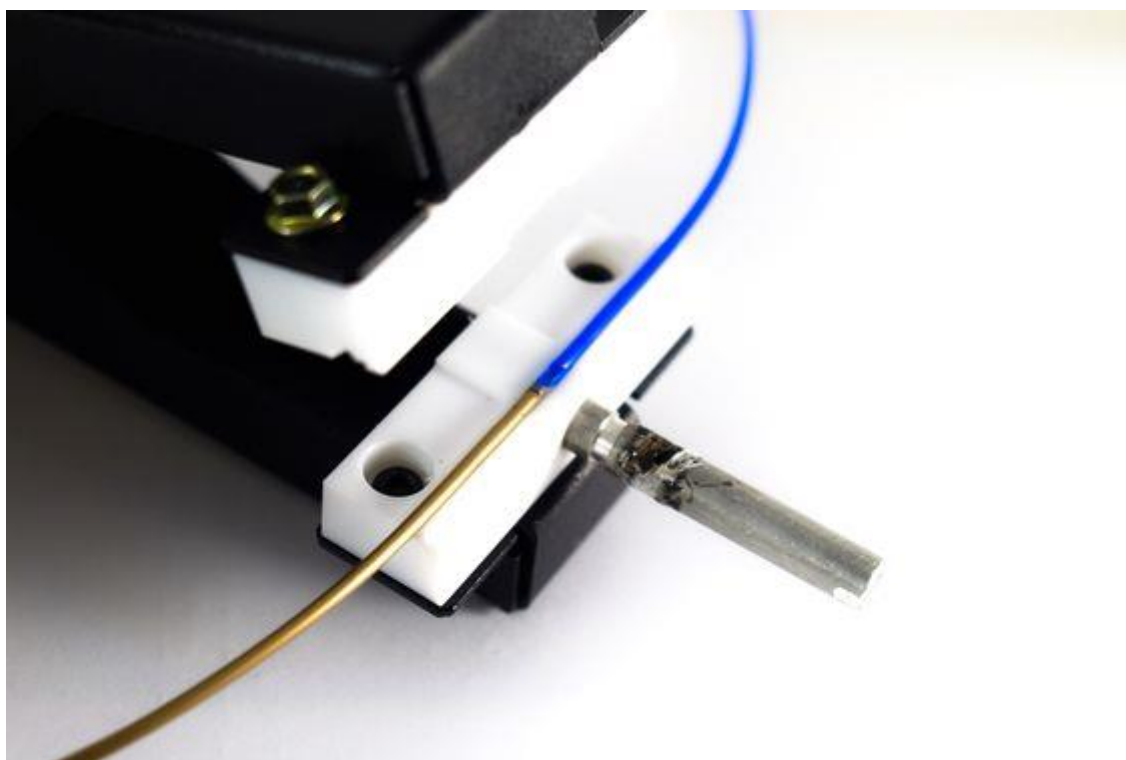


Obr. 2-1 Svářecí přípravek na spojování 3D tiskových strun od firmy BIQU [8]

### 2.7.3 Svářecí kleště

Tyto kleště slouží ke svařování 3D tiskových strun. Velkou výhodou těchto kleští je například možnost regulace teploty, čímž se dá docílit lepší kvality sváru. Dále zde není nutnost provlečení celé délky zbývající struny, což je užitečné při spojování delších kusů. Jelikož kleště fungují na mechanickém principu je nutné svár ručně očistit, například žiletkou nebo brusným papírem.

Jako v předchozím případech se uživatel musí naučit správně zacházet s nástrojem, aby docílil uspokojivého výsledku. Postup sváření je následovný: Zprv uchyťte oba konce struny do držáku, tak aby byly mírně přes sebe. Poté použijte proti-adhezní papír, aby se plast nepřilepil ke kleštím. Takto připravené struny následně zacvakněte do kleští. Další operace obnáší už pouze chlazení a očištění spoje. [9]



Obr. 2-2 Svářecí kleště [9]

## 2.8 Elektronické svářecí zařízení dostupné na trhu

### 2.8.1 Palette od firmy Mosaic

Jedná se o zařízení, které umožňuje přeměnit každou tiskárnu na takovou, která zvládne nejen vícebarevný tisk, ale i vícemateriálový tisk. Dosaženo je toho propojením Palette s tiskárnou. Umožňuje spojování až 4 různých strun. Zařízení se skládá z 5 krokových motorů, 4 z nich tlačí přiváděné struny a 5. odvádí strunu ven ze zařízení. V jeho středu je topné těleso, ve kterém se spojují struny.

Palette má velice pěkný moderní design. Konstrukčně je velice dobře propracovaný, a to do té míry, že při koupi speciální soupravy si můžete sami doma vylepšit své Palette na novější verzi. Po spojení strun je spoj ochlazen v chladiči. Tento produkt je plně automatický, schopný rychle měnit a spojovat různé barvy a materiály strun. Jedinou nevýhodou je cena, která samozřejmě za takto složité zařízení, a ještě navíc dost specializované, se zdá být pochopitelná. [10]



Obr. 2-3 Zařízení Palette od firmy Mosaic [10]

## 3 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE

### 3.1 Analýza problému

#### 3.1.1 Jednoduché vyjmutí struny

Jednou ze specifických vlastností mého zařízení má být možnost vyjmutí struny, aniž by se její zbylá délka musela protahovat celým zařízením. Z tohoto důvodu nelze použít žádné uzavřené struktury jako je například sváření pomocí teflonové trubičky. Tento problém může být vyřešen pomocí mechanismu podobnému kleštím, tím pádem musí být tavné těleso ze dvou kusů a jeden z nich přitom připojen k pohyblivému ramenu a druhý pevně k rámu.

#### 3.1.2 Použití pro oba standartní průměry filamentů

Je důležité, aby bylo zařízení možno použít pro oba běžně používané průměry filamentů, a to 1,75 mm a 2,85 mm. Z tohoto důvodu bude muset být tavné těleso přizpůsobeno pro oba průměry. Stejně tak je nutno realizovat způsob, kterým bude možno změnit ze sváření jednoho průměru na druhý.

#### 3.1.3 Úpravy podavače

Je nutno použít přímý typ podavače, protože podstata bowdenového podavače je vedení uzavřenou trubičkou, díky které by nemohlo být uskutečněno jednoduché vyjmutí struny. Jako přímý podavač jsem zvolil pákový typ, jehož konstrukce je snazší na výrobu. Tento podavač musí být upraven tak, aby bylo možno strunu bezproblémově vyjmout a stejně tak musí být vytvořen vodící mechanismus, jež povede filament do tavného tělesa.

#### 3.1.4 Navržení topného tělesa

Jak jsem již zmiňoval, topné těleso má být navrženo pro oba běžné průměry filamentů. Taktéž je důležitá izolace tavného tělesa. Z důvodu disipace tepelné energie by nemuselo topné těleso s omezeným výkonem stačit pro ohřev na požadovanou teplotu. Dále je izolace nutná, jelikož tavné těleso bude spojeno s plastovým dílem, který by se při vyšších teplotách roztavil. Dalším problémem je vzájemná pozice extruderu a tavného tělesa. Tiskové vlákno by mělo být vedeno co možná nejpříměji do tavného tělesa.

### 3.1.5 Elektronika

Je důležité nastavit správnou teplotu v tavném tělese, aby byl materiál co nejméně poškozen přetavením, proto je potřeba zajistit možnost regulování teploty, a to pomocí termistoru připojeného k řídící desce. Dále je potřeba zajistit pohyb filamentů souměrně z obou stran. Toho bude docíleno pomocí mechanických senzorů tzv. endstopů, které budou umístěny symetricky z obou stran, ze kterých bude přiváděn materiál.

## 3.2 Cíl práce

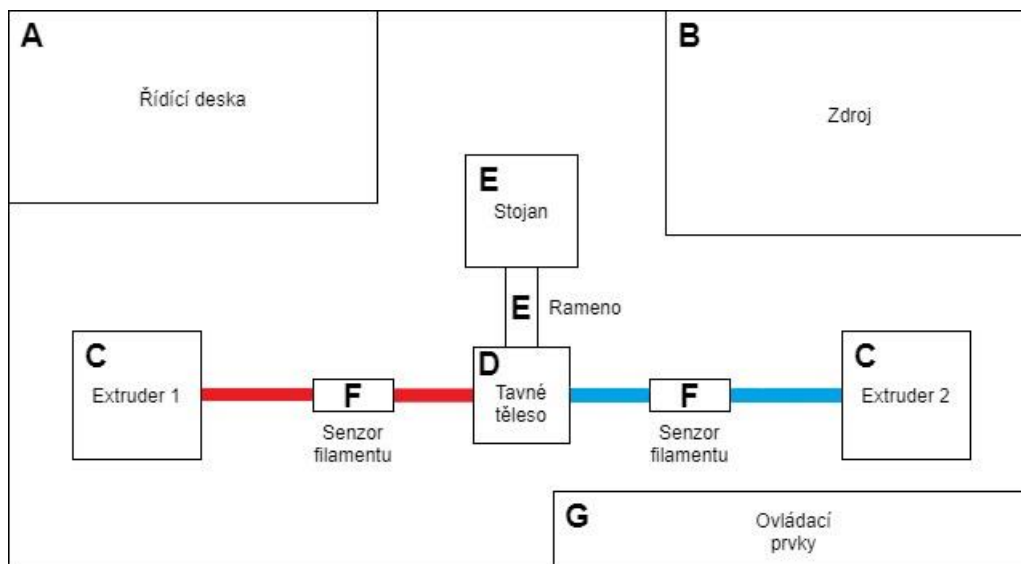
Hlavním cílem této práce je zkonstruovat zařízení podle znalostí získaných z rešerše, které bude bezproblémově svářet tiskové struny, a to jak průměrů 1,75 mm, tak i 2,85 mm. Oblast svaru by přitom měla dosahovat co možná nejlepších mechanických a chemických vlastností, dostatečně dobrých na to, aby bezproblémově prošla přímým extruderem jakékoliv tiskárny.

Zařízení by zároveň mělo být uživatelsky přívětivé, ať už například ze strany konstrukce, designu nebo uživatelského rozhraní. Důležitá je také možnost vyjmutí struny, aniž by se její zbytek musel protahovat celým zařízením. Proces svařování by měl být opakovatelný v co nejmenším možném čase. Celé zařízení musí být zkonstruováno s největší možnou mírou bezpečnosti pro uživatele.



## 4 KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ

Celé zařízení se skládá z následujících součástí: 2 podavače, tavné těleso, mechanické senzory filamentu, držák tavného tělesa, integrovaná deska Arduino se štítem Reprap Ramps 1.4, zdroj stejnosměrného proudu a základní deska, na které budou všechny součásti uchyceny. Jednotlivé součásti jsou rozmístěny dle následujícího schématu.



Obr. 4-1 Schéma zařízení na sváření filamentů

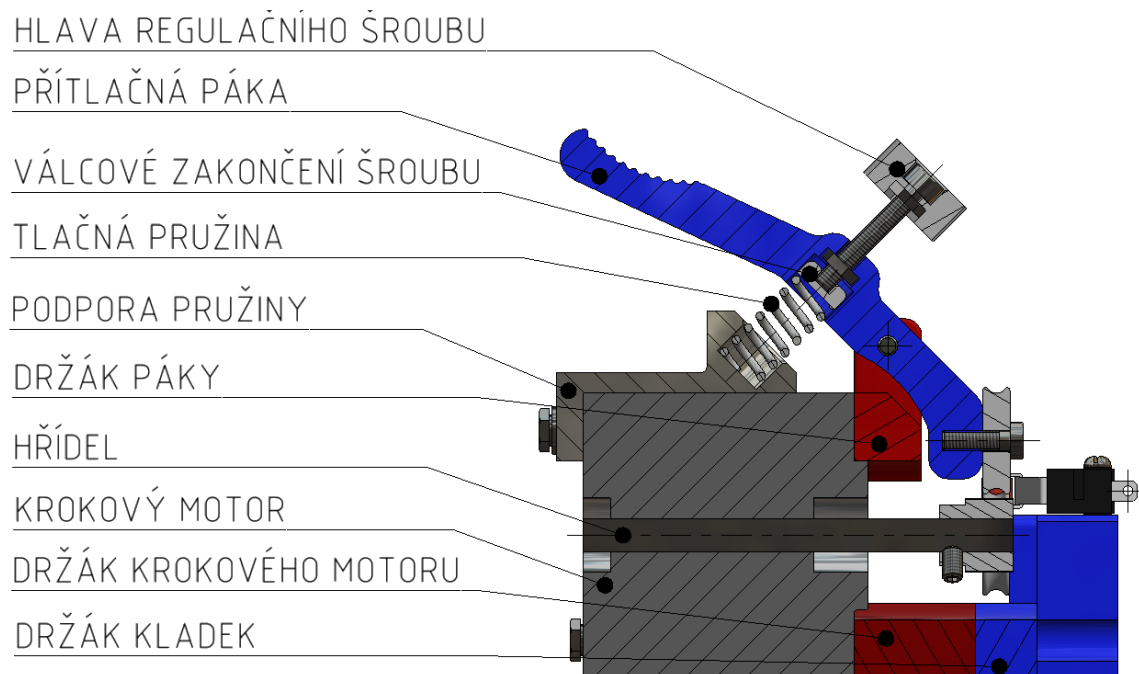
- A. Integrovaná deska Arduino MEGA2560 spojená se štítem Reprap Ramps 1.4. K této sestavě budou připojeny řídicí jednotky krokových motorů, dále zde budou připojeny senzory průtoku filamentu. Topné těleso bude připojeno přes MOSFET, kvůli bezpečnosti. MOSFET je typ unipolárního tranzistoru. Používá se, aby velké proudy neprocházely přímo integrovanou deskou. Součástí MOSFETu je velký chladič na odevzdání vzniklého tepla do okolí.[13] Integrovaná deska bude napájena zdrojem stejnosměrného proudu.
- B. Zdroj stejnosměrného proudu o velikosti napětí 12 V nebo 24 V. Co se týče 12V zdroje, tak jeho výhodou je větší dostupnost, tím pádem lepší cena. Na druhou stranu díky topnému tělesu je potřeba výkon kolem 100 Wattů. Při výkonu 100 W by vodiči protékaly velké proudy, a to může být nebezpečné. 24V zdroj je sice méně častý, zato pro tento případ lepší řešení, co se týče bezpečnosti. Podle napětí zdroje je poté potřeba vybrat příslušné topné těleso.

- C. Podavač 1, společně s druhým podavačem, je hlavní posuvnou jednotkou celého mechanismu. Tyto podavače zajišťují správný pohyb vláken do tavného tělesa. Nejznámější a zároveň konstrukčně nejjednodušší je pákový podavač. Ten může být převodovaný pro menší zatížení motoru, ale to v mém případě není potřeba. Páka má na jednom konci kladku pro volný pohyb filamentu při přítlaku. Filament je z druhé strany sevřen ozubeným kolem, které ho tlačí dál. Přítlak na páku je realizován tlačnou pružinou.
- D. Tavné těleso, v němž se odehrává celý proces svařování. Nejdůležitější komponenta celého zařízení.
- E. Stojan pro držák vrchní části tavného tělesa. Na stojanu bude přichyceno rameno, které bude vůči stojanu provádět rotační pohyb. Rameno dále bude pevně spojeno s horní částí tavného tělesa. Pomocí tohoto mechanismu bude umožněno jednoduché a přitom praktické vyjmutí struny.
- F. Mechanické spínací senzory G a H slouží k detekci filamentu. Jakmile extrudery posunou filament až k senzoru, senzor sepne a zařízení bude vědět, že má zastavit posun. Toto opatření je potřeba z důvodu, aby oba konce filamentu byly posunuty stejnou délkou do středu tavného tělesa.
- G. V této části zařízení se budou nacházet ovládací prvky. Jako ovládací prvky si představuji tlačítka a páčky, které slouží buď k zapnutí samotného zařízení, nebo spuštění určitého programu. Tyto prvky mohou být z části nahrazeny displejem s už integrovanými tlačítky.

## 4.1 Podavač

U zařízení nelze použít klasický pákový podavač, používaný u mnoha 3D tiskáren, bez potřebných úprav. Jednou z hlavních úprav je nutnost použití vodících kladek. Bez těchto kladek by struna nebyla schopna docílit tavného prostoru. Poloha páky a celého přidruženého mechanismu včetně pružiny byla modifikována. K zajištění rotace kladek bude sloužit šroub M3. I přesto že styk relativně hladké stěny kladky se závitem šroubu není ideální, je toto řešení dostačující díky relativně malé síle působící na šroub.

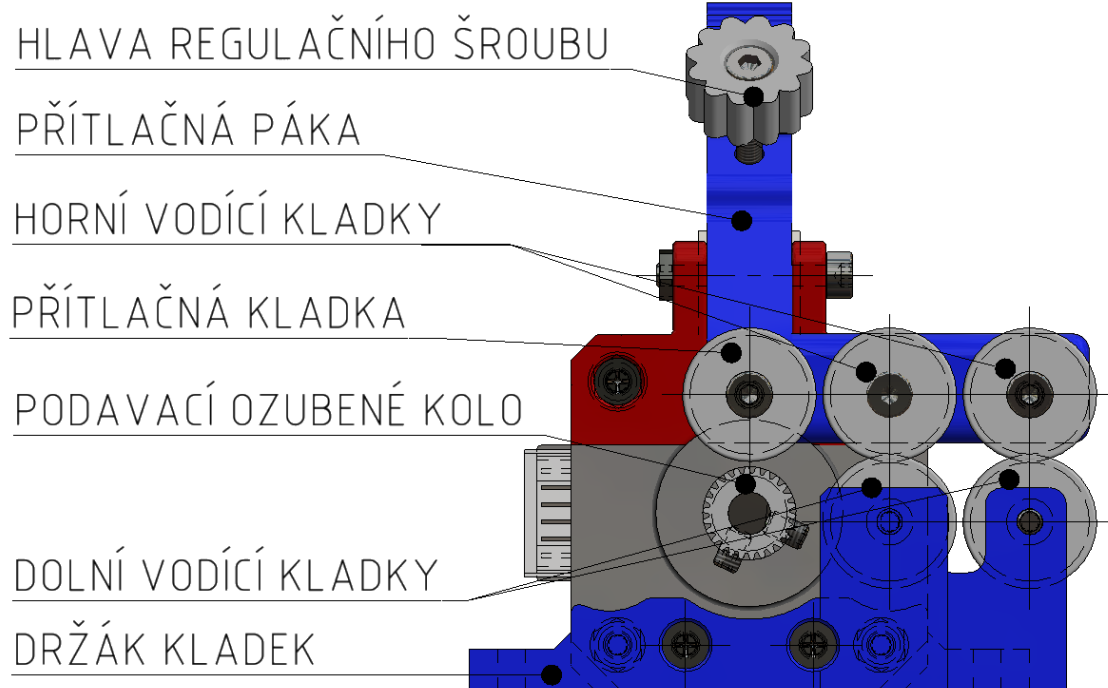
Dále držák páky bude sešroubován s krokovým motorem. Páka bude upevněna pomocí šroubu M3. Přítlak páky na filament bude zprostředkován pomocí tlačné pružiny, která bude na jednom konci opřena o podporu na krokovém motoru. Na druhém konci bude přitlačena na ploché zakončení šroubu, které pomocí mechanismu se šroubem slouží k regulaci přítlaku. Filament bude tlačén pomocí ozubeného kola stejného typu, jako se používá u extruderů tiskáren.



Obr. 4-2 Popis částí podavače

## 4.2 Vodící mechanismus

Vodící mechanismus musí být schopen zajistit bezproblémový posun materiálu až do tavného tělesa. Docíleno toho bude díky dostatečnému počtu vodících kladek, které budou umístěny z horní a dolní části struny, čímž ji obepnou. Dalším možný řešením by bylo použití vodícího kanálku, upraveného pro oba průměry filamentu, podobně jako vodící kladky.



Obr. 4-3 Popis vodícího mechanismu

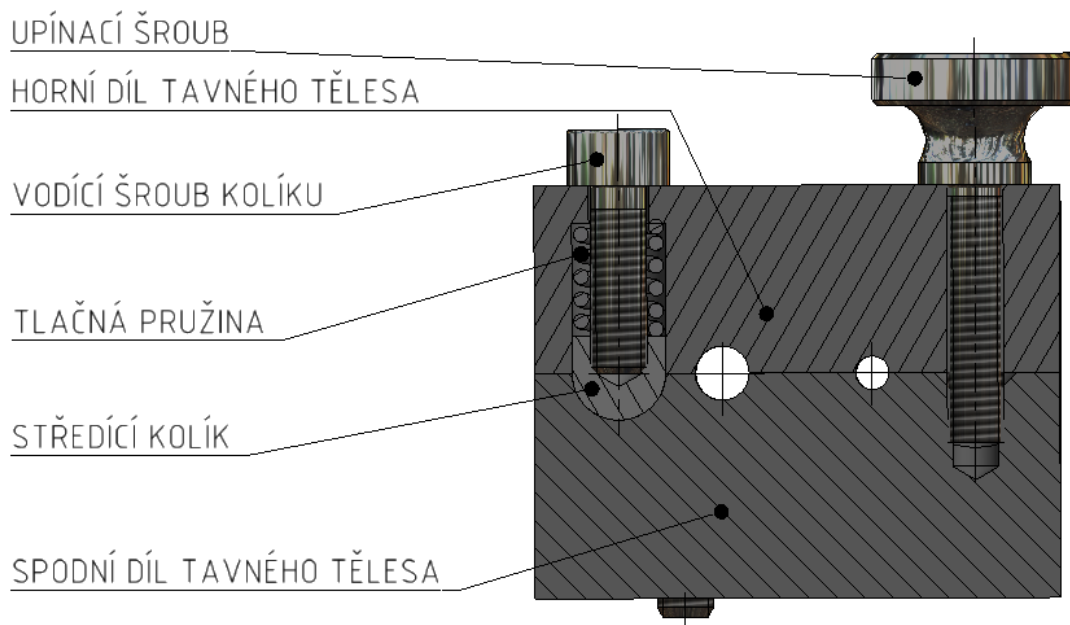
### 4.3 Tavné těleso

V tavném tělese se odehrává celý proces spojování vláken. Tavnou oblast zahřívá topné těleso o výkonu 40 W. Je důležité zvolit materiál, který bude dobře vést teplo, ale zároveň bude dobře obrobitelný. Jelikož je měď hůře obrobitelná, rozumnější volbou by byl hliník. Hliník má dostatečné termické vlastnosti a zároveň je relativně dobře obrobitelný.

Naneštěstí se filament při přehřátí na hliník lepí, tím pádem by bylo vhodné použít mezní vrstvu mezi hliníkem a materiálem vlákna. Jedno z možných řešení je kaptonová páska, která je tepelně odolná až do 300 °C. Kaptonová páska není dobrý vodič, avšak vzhledem k její tloušťce 0,04 mm je to zanedbatelné. [12]

Drsnost povrchu ve svařované oblasti může alespoň částečně ulpívání minimalizovat. Čím je dotykový povrch hladší, tím menší plochou bude materiál připečen k povrchu tělesa, díky čemu ho lze snadněji odstranit. Pokud je povrch tělesa již znečištěn, je nutno aplikování čistící struny. Většina výrobců filamentů v dnešní době prodává tzv. čistící struny. Tyto struny obsahují látky, které dokáží pročistit jak extruder 3D tiskáren, tak i tavné těleso podobné konstrukce. Z tohoto důvodu musí uživatel při ulpění plastu zvážit použití těchto čistících strun, aby se zabránilo možné nefunkčnosti celého procesu svařování.

Tavné těleso bude rozděleno na 2 poloviny, podobně jako u kleští. V tomto případě bude spodní část tavného tělesa pevně usazena vzhledem k rámu, naopak druhá polovina se bude pohybovat na rameni. Toto rameno bude připevněno k horní části tělesa a zároveň rotačně usazeno v rámu, čímž docílíme možnosti odebrat svařené vlákno bez průtahu zbytku filamentu.



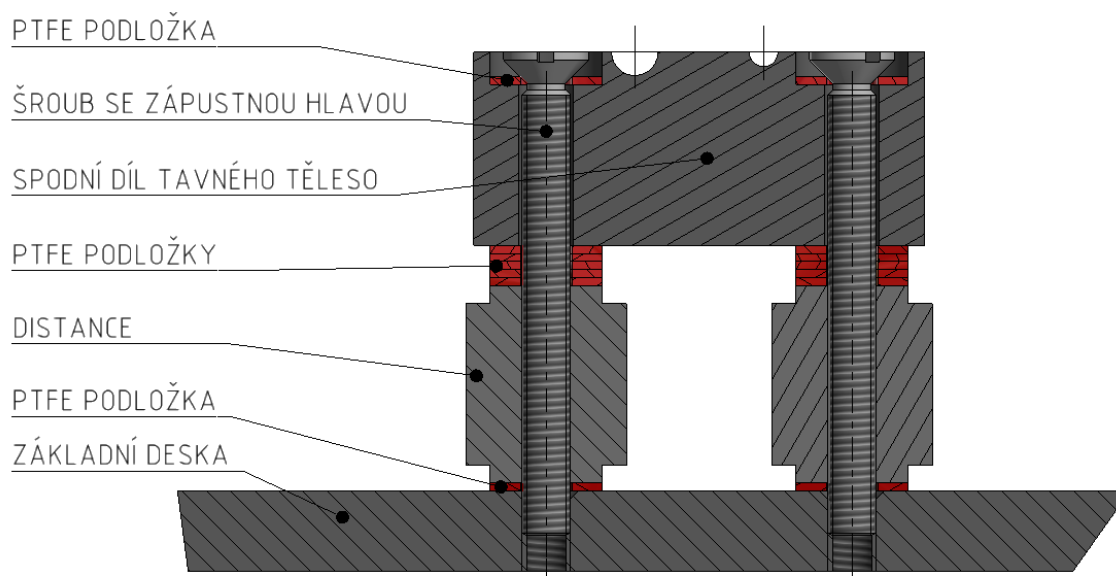
Obr. 4-4 Popis spoje dílů tavného tělesa

### 4.3.1 Uchycení tavného tělesa do rámu

Spoj tavného tělesa s rámem musí být dostatečně tuhý a zároveň dostatečně tepelně izolovaný. Izolace je důležitá jak z hlediska tepelné ztráty při svařování, tak i s ohledem na zahřátí materiálu rámu, který nemusí být nutně odolný vysokým teplotám. Tento spoj je možné realizovat obyčejnými šrouby, pokud se provedou potřebné úpravy tohoto spoje.

Aby byl šroub izolovaný, je potřeba kolem něj usadit teflonový rukáv, popřípadě alespoň teflonovou podložku pod hlavičku šroubu. Potřeba bude také určitá korekce výšky kvůli poloze podávacího mechanismu. Tato korekce může být řešena teflonovými nebo popřípadě keramickými distancemi, aby se co nejvíce omezil přenos tepla.

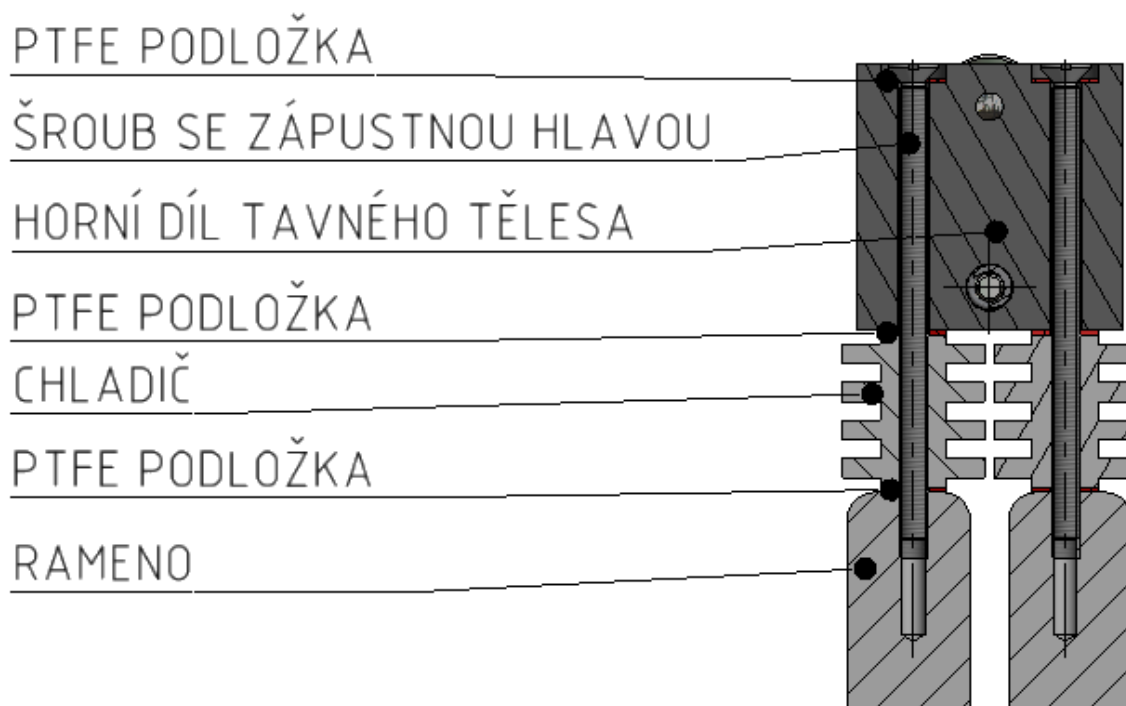
Při použití keramických distancí je možné, že se i přes izolační rukáv (případně podložku) přeneseme teplo a díky distancím z izolantu se nebudou šrouby moci dostatečně chladit. To by vyřešily distanční trubičky z kovu, které by se mohly zaizolovat od tavného tělesa pomocí teflonových podložek. Tyto trubičky mohou být drážkované pro lepší odvod tepla do okolí, tím pádem budou fungovat jako chladiče. Typ šroubu je zvolen s ohledem na minimalizování kontaktu šroubu s PTFE podložkou kvůli kondukcí tepla.



Obr. 4-5 Popis spoje spodního dílu tavného tělesa s rámem

### 4.3.2 Uchycení tavného tělesa do pohyblivého ramena

Tento spoj musí splňovat stejné požadavky jako spoj tělesa s rámem. V ideálním případě by bylo možné aplikovat podobné řešení problému. Pro spojení budou použity dva šrouby, které budou mít teflonovou podložku pod hlavičkami. Mezi ramenem a tavným tělesem bude distanční trubka s drážkami, z obou stran oddělená PTFE podložkami. Tyto distanční trubky budou ochlazovány pomocí aktivního chlazení.



Obr. 4-6 Popis spoje horního dílu tavného tělesa s ramenem

### 4.3.3 Materiál tavného tělesa

Jednou z důležitých fyzikálních vlastností, kterou by měl materiál splňovat je tepelná difuzivita neboli součinitel teplotní vodivosti. Tepelná difuzivita v sobě zahrnuje měrnou tepelnou kapacitu a také tepelnou vodivost. Čím se hodnota tepelné difuzivity zvyšuje, tím je látka schopna lépe vyrovnat tepelné rozdíly. [11]

Látka	Tepelná difuzivita [m <sup>2</sup> /s]
Měď	11,3 * 10 <sup>-5</sup>
Hliník	9,8 * 10 <sup>-5</sup>
Mosaz	3,7 * 10 <sup>-5</sup>
Železo	2,3 * 10 <sup>-5</sup>
Sklo (pro porovnání)	3,4 * 10 <sup>-7</sup>

Tab. 4-1 Tepelná difuzivita jednotlivých látek [11]

Jelikož se filament často v amatérských podmínkách svařuje za pomoci teflonových trubiček, zvážil jsem tuto možnost i pro mé řešení. Bohužel teflonové trubičky se standardně nevyrábí v potřebných průměrech a jejich tolerance také nejsou dostatečné pro zaručení správné funkčnosti zařízení. Jelikož mé zařízení má být schopno odebrat strunu po svaření bez jakékoliv nutnosti průvlaku struny celým zařízením, nelze použít uzavřenou PTFE trubičku. Trubičku by byla rozříznout napůl a následně ji jistým způsobem vložit do kovového tělesa, ale pak narážíme na problém s tolerancemi, které strojně obroběný kovový dílec bude mít zajisté lepší.

#### 4.3.4 Velikost a tolerance děr

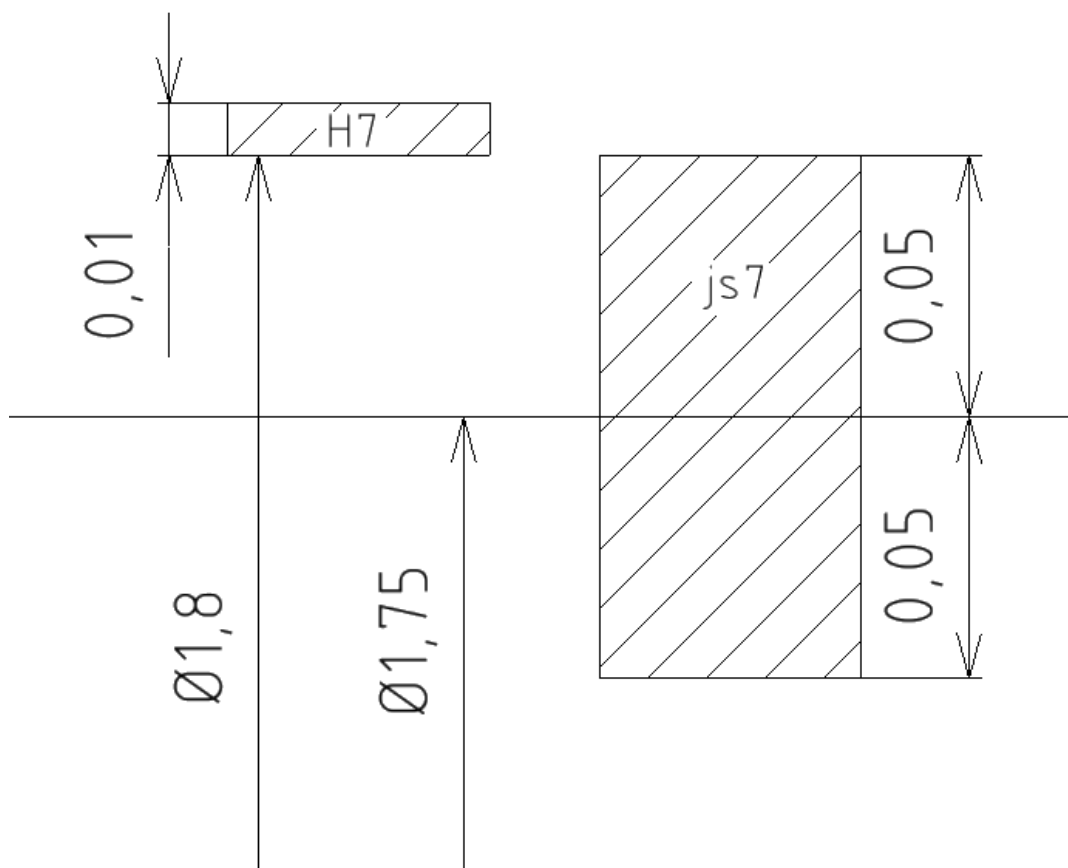
Velikost díry nesmí být příliš velká, aby struna prošla extruderem, popřípadě teflonovou trubičkou. Teflonové trubičky se vyrábí s vnitřním průměrem  $(2 \pm 0,1)$  mm, pro druhý případ  $(3 \pm 0,1)$  mm. Z tohoto plyne, že největší problém bude při průchodu extruderem, a ne při průchodem PTFE trubičkou.

Vzhledem ke skutečnosti, že jsou vlákna vyráběna o průměru 1,75 mm s běžnou tolerancí  $\pm 0,05$  mm, je potřeba počítat s maximální hodnotou 1,8 mm. Tolerance je volena H7, aby byla struna co možná nejbližší původní hodnotě a prošla tak bez problémů extruderem. Podobně i u vlákna průměru 2,85 mm jsou běžné úchyly  $\pm 0,05$  mm, tím pádem díra musí mít velikost 2,9 mm s tolerancí H7.

	Značka filamentu				
	Amazon Basics	Hatchbox	Prusament	MH Build Series	ColorFabb
Rozměrová tolerance	$\pm 0,05$ mm	$\pm 0,03$ mm	$\pm 0,02$ mm	$\pm 0,05$ mm	$\pm 0,05$ mm
Procentuální variace průměry	2,86 %	1,71 %	1,14 %	2,86 %	2,86 %
Minimální průřez	2,26 mm <sup>2</sup>	2,32 mm <sup>2</sup>	2,35 mm <sup>2</sup>	2,26 mm <sup>2</sup>	2,26 mm <sup>2</sup>
Maximální průřez	2,54 mm <sup>2</sup>	2,49 mm <sup>2</sup>	2,46 mm <sup>2</sup>	2,54 mm <sup>2</sup>	2,54 mm <sup>2</sup>
Procentuální variace průřezu	11,7 %	7,1 %	4,6 %	11,7 %	11,7 %

Tab. 4-2 Odchyly průměru filamentu od různých výrobců [14]



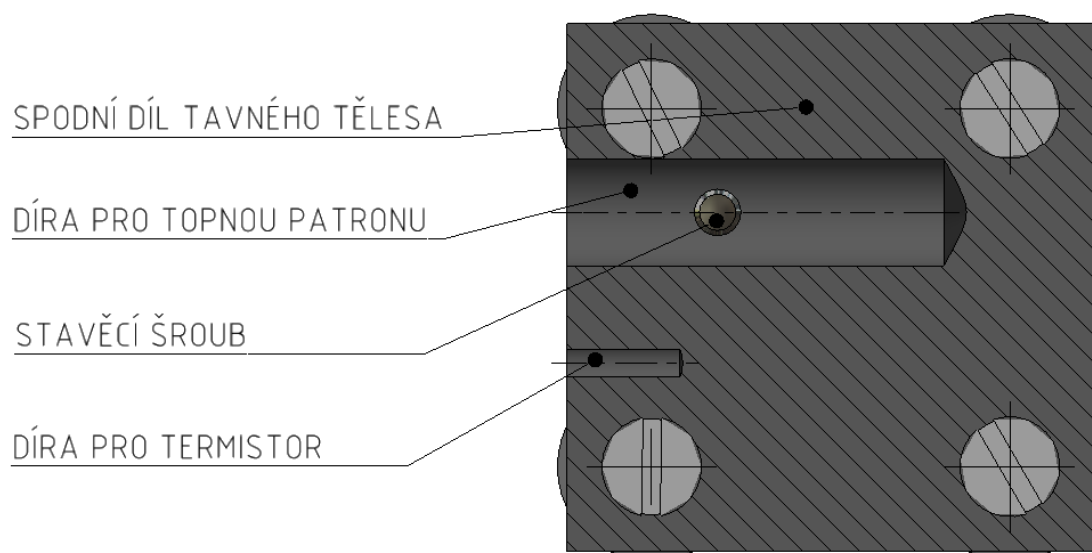


Obr. 4-7 Toleranční interval díry  $\varnothing 1,8$  mm a filamentu  $\varnothing 1,75$  mm

#### 4.3.5 Ohřev tělesa

Pro zahřátí tavného tělesa na požadovanou teplotu jsem zvolil elektronicky řízené topné těleso. Jelikož je potřeba stálá teplota, a navíc její konkrétní velikost, vypadáva ze hry jakýkoliv ohřev pomocí zapalovačů a podobných špatně regulovatelných zdrojů tepla. Jedna z nevýhod tohoto řešení je vyšší spotřeba elektřiny, tím pádem i požadovaný výkon zdroje. Topná tělesa se obvykle prodávají o výkonech 40 a 50 Wattů. Obě tyto výkonové třídy jsou dostačující na vyhřátí celé součásti v dostatečném časovém intervalu, s ohledem na podobné rozměry tepelných bloků 3D tiskáren.

Topné těleso bude umístěno ve spodní části součásti z konstrukčních důvodů. Teplo se bude v součásti šířit hlavně kondukcí (tělesa budou v přímém kontaktu), proto musí být povrch styčných ploch co možná nejrovnější.



Obr. 4-8 Uložení topné patrony ve spodním dílu tavného tělesa

## 4.4 Chlazení

K chlazení využiji ventilátor, a to buď radiální nebo axiální. Radiální poskytují vysoký průtok vzduchu pod vysokým tlakem. Jsou určeny pro vedení vzduchu vzduchovodem k chlazenému místu. Axiální ventilátory naproti tomu zajišťují vysoký průtok vzduchu pod nízkým tlakem. [19]

Spoj mezi ramenem a tavným tělesem je potřeba kontinuálně chladit. Ventilátor bude umístěn v těsné blízkosti spoje, tím pádem není třeba vzduchovod a ani větší tlak přiváděného vzduchu. Z těchto důvodů volím axiální ventilátor velikosti 30x30 mm. Tyto rozměry budou dostačující, protože se tyto ventilátory často používají pro chlazení v oblasti 3D tisku. [20]

## 4.5 Stojan + rameno

Stojan s otočným ramenem je potřeba k pohybu horní části tavného tělesa. Bez toho by nebylo možné filament odebrat, aniž by se musel celý protáhnout tavným tělesem. Materiálem těchto součástí bude termoplast, jelikož budou tištěny na 3D tiskárně stejně jako většina ostatních součástí. Jedním z možných kandidátů na materiál je PET-G díky jeho houževnatosti a slušné tepelné odolnosti. Pokud by tepelná odolnost tohoto materiálu byla nedostačující, je další možností například ABS nebo ASA. U těchto materiálů je tepelná odolnost vyšší, zato houževnatost nižší, společně se vzájemnou soudržností vrstev spojenou s poměrně velkým smršťováním materiálu při tisku.

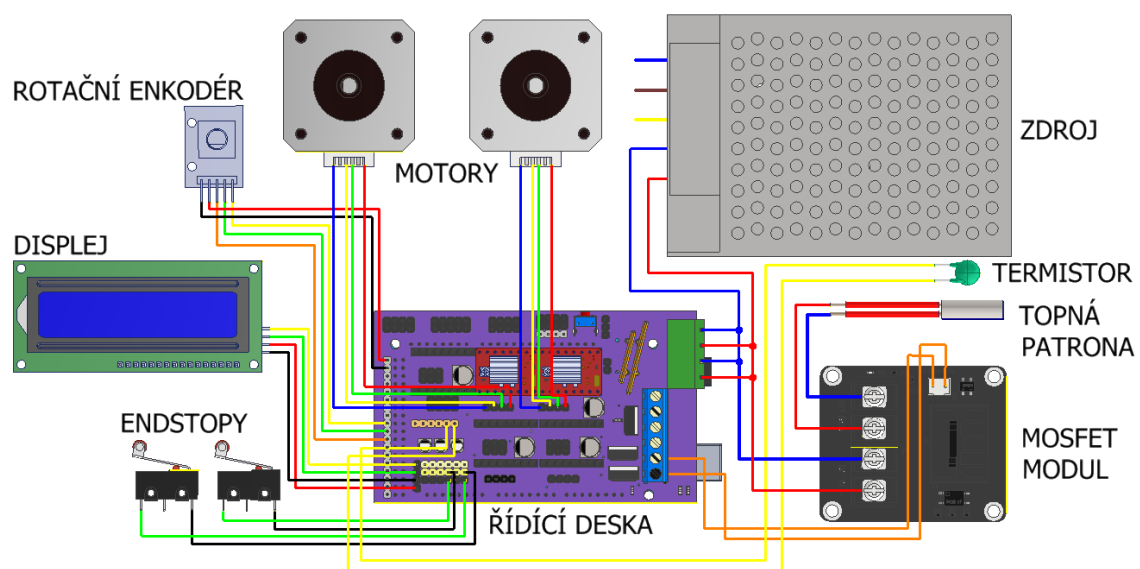
## 4.6 Elektronika

Pro řízení celého přístroje bude použita deska Arduino MEGA2560 se štítem Reprap Ramps 1.4. Díky štítu je možno na desku připojit až 4 ovládací jednotky motorů neboli drivery. Pro toto zařízení budou použity 2 drivery typu A4988. Mají zabudovanou ochranu proti přehřátí, zkratu na výstupu a podpětí. Může na něm být nastaveno krokování s rozlišením až 1/16 kroku. [21] Pro extruder je tento driver dostačující.

Deska bude napájena zdrojem stejnosměrného proudu, a to buď o napětí 12 V nebo 24 V. Podle napětí zdroje je potřeba zvolit adekvátní topné těleso. Ventilátor chlazení ramene může být zapnut nepřetržitě, proto bude zapojen přímo ke zdroji. Topné těleso bude připojeno přes MOSFET kvůli velkému proudu. Nebylo by bezpečné, aby tak velký proud protékal přímo přes desku. Termistor na snímání teploty tavného tělesa bude zapojen do desky, ke které bude připojen displej se zobrazením aktuální teploty tělesa.

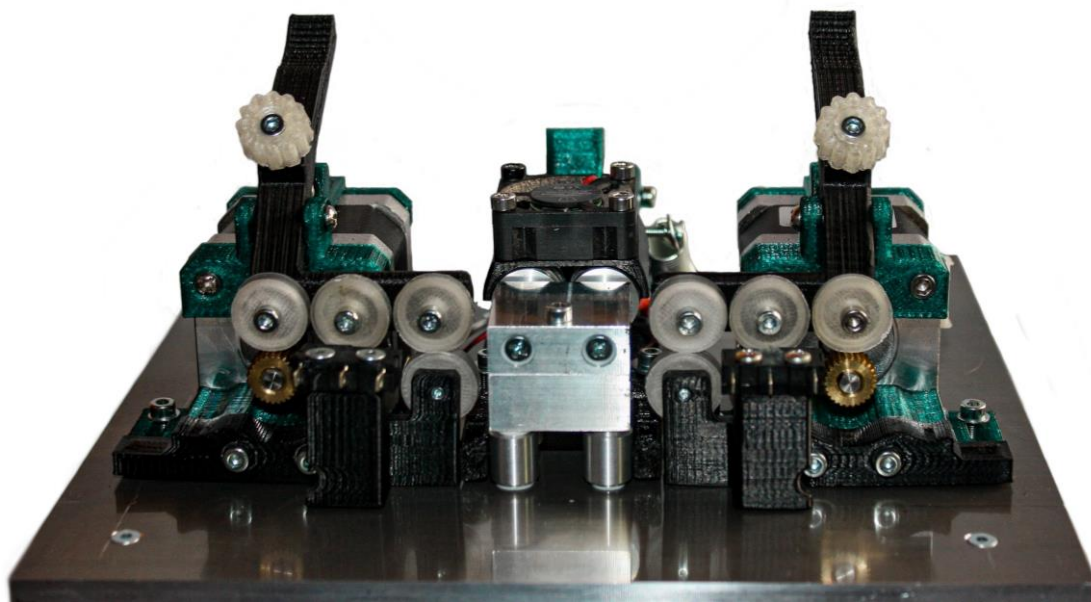
Pokud by bylo třeba chladit i boky tavného tělesa z důvodu předčasného roztavení struny před dosažením tavné oblasti, může se zapojit další ventilátor. Tento ventilátor by měl být radiální, kvůli účinnějšímu chlazení.

Elektronika bude řízena tlačítky, která spustí danou část kódu. Na displeji se bude zobrazovat aktuální dosažená teplota tavného tělesa a taktéž referenční teplota, která bude regulovatelná pomocí rotačního enkodéru.



Obr. 4-9 Schéma zapojení elektroniky

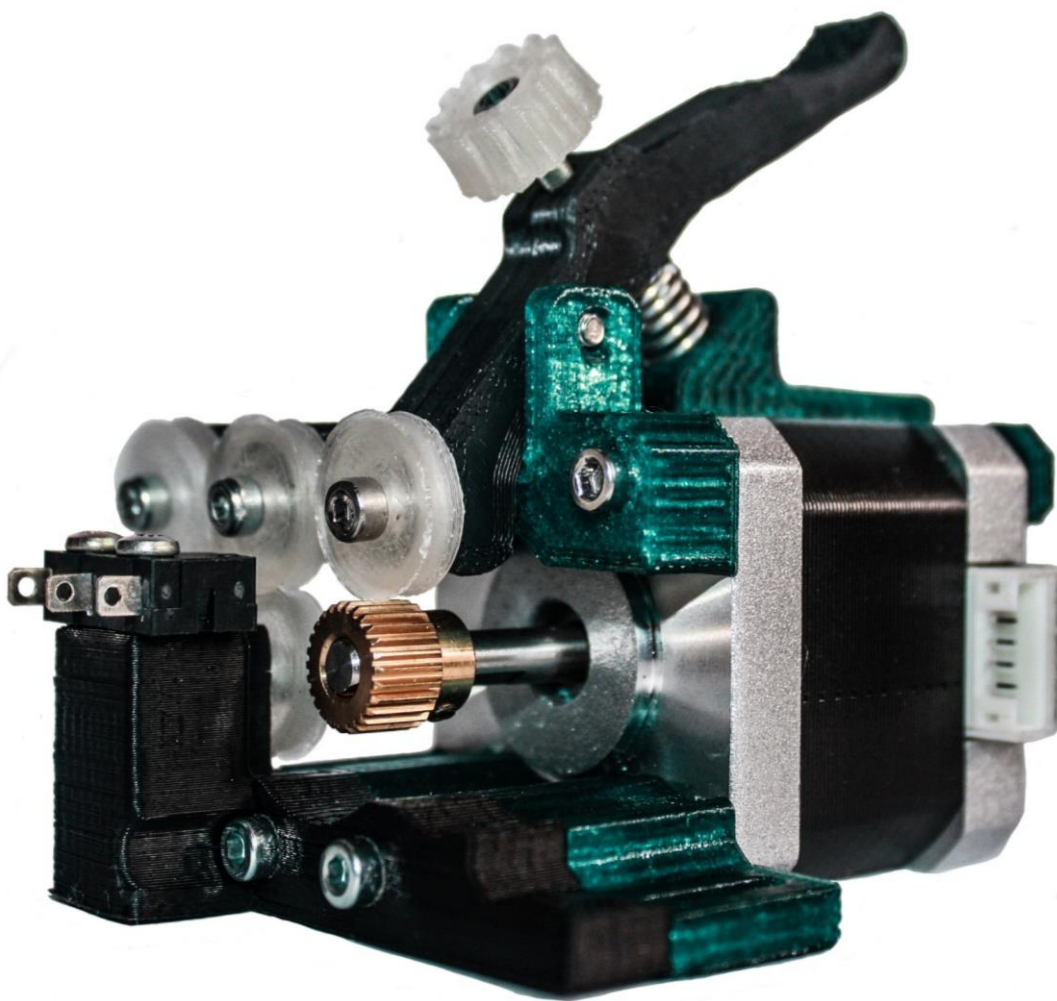
## 5 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ



Obr. 5-1 Složené svářecí zařízení

### 5.1 Podavač

Použil jsem pákový extruder se speciálním provedením. Na páce jsou kromě hlavní kladky, která vytváří tlak na ozubené kolo, i kladky vodící. V případě, že vlákno nebude dostatečně přímé, vodící kladky povedou vlákno tak aby směřovalo přímo do tavné oblasti. Přítlak je vyřešen tlačnou pružinou, jejíž přítlak může být upraven otáčením šroubu s plastovou hlavou v horní části páky. Pružinu jsem volil délky 25 mm v nezatíženém stavu. Pružina má vnější průměr 8 mm a vnitřní 6 mm. Tyto pružiny se běžně používají v extruderech 3D tiskáren. Páka i hlavička šroubu jsou ergonomicky upraveny pro snadné ovládání.



Obr. 5-2 Sestavený pravý podavač

Jako motor pro pohon podavače jsem zvolil krokové motory NEMA17 17HS4401, které jsou běžně používány u většiny dnešních 3D tiskáren. Dosahují kroutícího momentu  $40 \text{ N}\cdot\text{cm}$ , jejich hmotnost je 280 g, velikost úhlu jednoho kroku je  $1,8^\circ$  a pro jednu otočku je potřeba 200 kroků. [17] Ozubené kolo zajišťující posuv struny je vyrobeno z mosazi a má 26 zubů. K upevnění ozubeného kola na hřídel krokového motoru jsou použity 2 stavěcí šrouby velikosti M3. Ostatní součásti jsou spojeny šrouby velikosti M3. Díly vytvořené pomocí 3D tisku, byly tvarem a velikostí inspirovány podobnými díly používanými u 3D tiskáren. Jako materiál podpory pružiny, držáku extruderu, držáku kladek a hlavičky šroubu jsem zvolil PET-G. Díky své větší teplotní odolnosti zvládne odolat podmínkám v okolí tavného tělesa a zároveň díky své houževnatosti poskytne dostatečné mechanické vlastnosti pro správnou funkci.

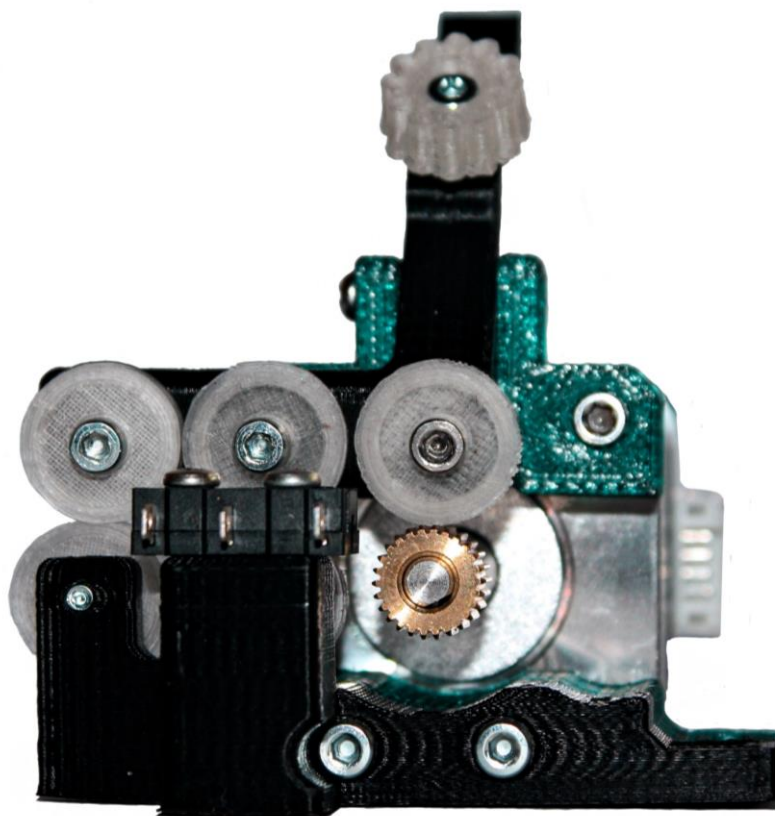
V nastavení pro tisk byly navoleny 4 perimetry pro dostatečnou tuhost dílů, výplň 30 % s tvarem mřížky, chlazení výtisku 35 %, aby byla zachována co největší rozměrová přesnost, ale zároveň pro dostatečnou pevnost mezi vrstvami. Páka a kladky musí být z tepelně odolnějšího materiálu, protože jsou v blízkém kontaktu s tavným tělesem, tím pádem jsem zvolil materiál ABS. Tiskové nastavení pro páku jsou obdobné jako pro předchozí díly z PET-G, jedinou změnou, když pomineme jiné tiskové teploty, bylo vypnutí ventilátoru pro chlazení výtisku. Kladky byly tištěny také se 4 perimetry, zato se 100% výplní.



Obr. 5-3 Pravý podavač z boku

## 5.1 Vodící mechanismus

Jako vodící mechanismus byly použity kladky z termoplastu ABS. Kladky jsou uchyceny pomocí šroubů, na kterých se volně otáčí. Vrechní řada kladek je uchycena na přitlačné páce, dolní řada je uchycena v držáku kladek. Pro dostatečně rovný kus filamentu je tento typ vodícího mechanismus přijatelný. Pokud by byl vstupující filament zkřivený, nemusí vodící mechanismus fungovat stoprocentně.

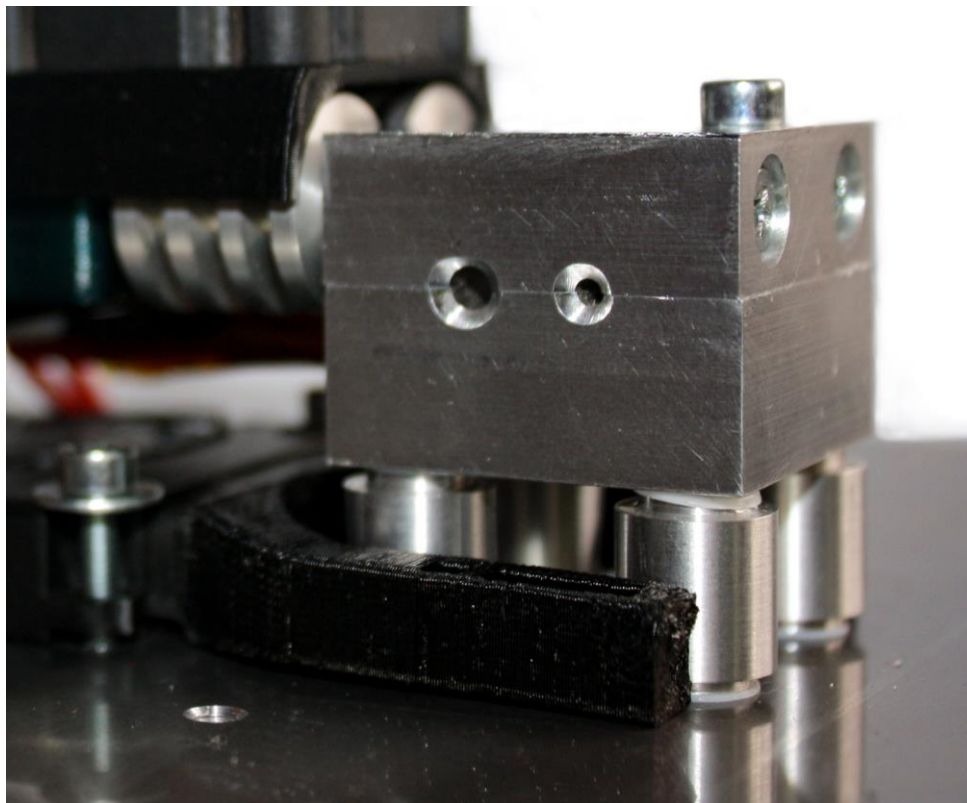


Obr. 5-4 Vodící mechanismus podavače



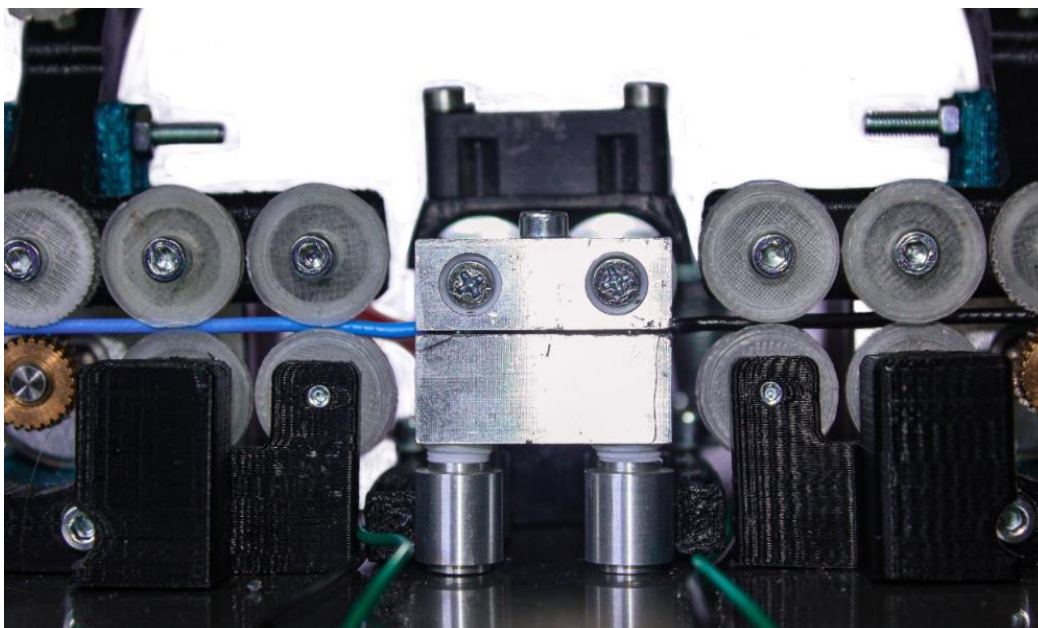
## 5.2 Tavné těleso

Je složeno ze dvou hliníkových dílů. Spodní díl je pevně spojen s rámem pomocí kombinace teflonových podložek a kovových distančních trubek. Teflonové podložky jsou umístěny i pod hlavičkami šroubů, které spojují tavné těleso s okolními součástmi. Horní díl bude spojen s pohyblivým ramenem, z tohoto důvodu je proti spoji ramene s tavným tělesem zajišťovací šroub, který spolehlivě přitiskne oba díly dostatečnou silou.



Obr. 5-5 Detail tavného tělesa

Topné těleso o výkonu 40 W je uloženo ve spodním dílu, stejně tak termistor je typu NTC 3950 100k Ohm pro měření teploty tavné oblasti. [18] Tyto součástky se standartně používají u většiny dnešních 3D tiskáren. Pro zlepšení vedení tepla mezi topným tělesem a tavným tělesem je použita teplovodivá pasta, která se běžně používá na chladiče. Pro aplikaci za teploty kolem 200 °C by byla lepší volba pasta s větší tepelnou vodivostí, a to například Qoltec 51649, která má vyšší tepelnou vodivost a zároveň je podle výrobce vhodná pro použití do 300 °C. [24]



Obr. 5-6 Ukázka tavného tělesa při sváření

Dále je nutné zajistit vzájemnou pozici rámu a dolní části tavného tělesa, proto je potřeba provést výpočet tolerance polohy děr.

Pro spojení součástí, u kterých je nutné vzájemné seřízení polohy volím součinitel využití vůle.

$$K = 0,8$$

Nejmenší vůle mezi hladkou dírou a spojovací součástí pro šroub a díru velikosti M3

$$v_{0min} = D_{0min} - d_{0max} = 3,4 - 3 = 0,4 \text{ mm}$$

Výpočet mezních úchylek pro spojení typu A. Spojení typu A se použije tehdy, pokud vůle pro průchod spojovacích součástí jsou v obou spojovaných součástech. [22]

$$\delta L = 0,7 \cdot K \cdot v_{0min} = 0,7 \cdot 0,8 \cdot 0,4 = 0,224 \text{ mm}$$

### 5.2.1 Výpočet času potřebného k ohřátí tavného tělesa

Následující výpočet je pouze orientační. Jako model pro výpočet je použita plná hliníková kostka bez děr. Nejsou brány v potaz okolní vlivy, jako například průvan, foukání ventilátoru nebo vedení tepla přes spojovací šrouby.

Výkon topného tělesa

$$P = 40 \text{ W}$$

Měrná tepelná kapacita hliníku

$$c = 896 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

Objem tavného tělesa

$$V = 0,028 \cdot 0,028 \cdot 0,024 = 1,8816 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

Hustota hliníku

$$\rho = 2700 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

Počáteční teplota

$$t_0 = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Požadovaná teplota

$$t_1 = 200 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Teplo, které je potřebné dodat tělesu.

$$\begin{aligned} Q &= m \cdot c \cdot \Delta t = V \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta t = 1,8816 \cdot 10^{-5} \cdot 2700 \cdot 896 \cdot (200 - 20) \\ &= 8193,5 \text{ J} \end{aligned}$$

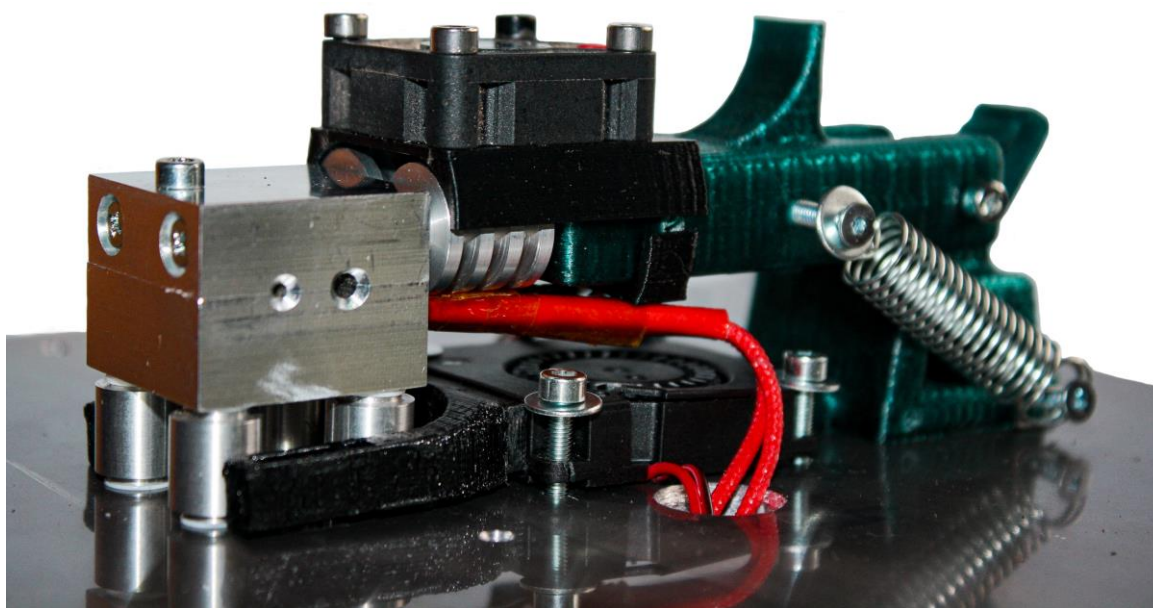
Čas potřebný pro vytopení tělesa na danou teplotu

$$P = \frac{Q}{\tau} \Rightarrow \tau = \frac{Q}{P} = \frac{8193,5}{40} = 204,8 \text{ s}$$

Výsledný čas pro ohřev tělesa na teplotu 200 °C je kolem 200 sekund. Reálný čas bude větší kvůli zjednodušenému a ideálnímu řešení problému. Délku ohřevu lze snížit buďto výkonnějším topným tělesem, například 50 W, nebo izolováním částí tavného tělesa od okolí.

## 5.3 Rameno

Rameno je vyrobeno z materiálu PET-G. Díky tomu, že mezi ramenem a horní částí tavného tělesa se nacházejí chladiče, které jsou aktivně chlazeny, není třeba použití tepelně odolnějších materiálů, jako je třeba ASA, popřípadě ABS. Spojovací šrouby procházejí přes chladiče opatřeny teplovodivou pastou s tepelnou vodivostí  $0,67 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ . Rameno bylo tisknuto se 4 perimetry, 30% výplní ve tvaru mřížky a se 35% výkonem chladicího ventilátoru. Součástí ramene a stojanu je tažná pružina, která slouží jako dvoupoložiční mechanismus. V jedné poloze přitlačí horní část tavného ramena ke spodní, ve druhé je v otevřené poloze pro vyjmutí filamentu.



Obr. 5-7 Sestava ramene s tavným tělesem a stojanem

## 5.4 Stojan

Ke stojanu je připevněno rameno. K rámu je stojan připevněn pomocí dvojice šroubů. Materiálem zvoleným pro stojan je PET-G, díky relativně malému zatížení, které na stojan působí není třeba volit mechanicky odolnější materiály. Pro tisk jsem zvolil nastavení jako u většiny ostatních dílů, tedy 4 perimetry, 30% vyplň ve tvaru mřížky a 35% výkon chladicího ventilátoru.

## 5.5 Elektronika

Pro napájení veškeré elektroniky byl použit průmyslový zdroj tlpz-12-120, původně určený pro napájení led pásků.

### 5.5.1 Výpočet potřebného výkonu zdroje

Výkon topného tělesa:

$$P_1 = 40 \text{ W}$$

Výkon krokových motorů:

$$P_2 = 2 \cdot (U \cdot I_{max}) = 2 \cdot (12 \cdot 1,7) = 40,7 \text{ W}$$

U je napětí pro napájení krokového motoru a  $I_{max}$  je maximální možný proud procházející motorem.

Výkon potřebný pro provoz ostatních elektronických součástí jako jsou například ventilátory, displej atd.

$$P_3 = 5 \text{ W}$$

Celkový výkon potřebný pro provoz zařízení:

$$P_{celkové} = P_1 + P_2 + P_3 = 40 + 40,7 + 5 = 85,7 \text{ W}$$

Rezerva výkonu pro zdroj o výkonu 120 W:

$$\frac{P_{zdroje1}}{P_{celkové}} = \frac{120}{85,7} = 1,4$$

Rezerva výkonu pro zdroj o výkonu 100 W:

$$\frac{P_{zdroje2}}{P_{celkové}} = \frac{100}{85,7} = 1,17$$

Z poměru vyplývá že první zdroj má 40% rezervu výkonu a druhý 17%. Pro běžné užívání výrobce doporučuje minimálně 20 % rezervy výkonu [25]. Tím pádem je výkon druhého zdroje nedostatečný, proto byl zvolen zdroj o velikosti výkonu 120 W.

## 5.5.2 Zapojení

Zdroj má celkem 7 svorek, 3 vstupní na napájení ze sítě a 4 výstupní. První 2 výstupní svorky byly použity na napájení řídicí desky Arduino Mega s Ramps 1.4 štítem. Zbylé 2 svorky byly využity pro separátní napájení MOSFET modulu, který následně napájí topnou patronu. MOSFET modul je propojen s deskou tak, že je schopen regulovat proud jdoucí do topné patrony na základě hodnot získaných z termistoru.

Pro výstup dat byl zvolen LCD displej I2C 1602 s připájeným I2C převodníkem. Rozhraní displeje a celé zařízení je ovládáno pomocí rotačního enkodéru. Výhoda enkodéru oproti potenciometru je možnost neomezené rotace o více než 360° do obou stran, a zároveň při stisku funguje jako tlačítko. Otáčením enkodéru bude umožněno například měnit aktuální teplotu tavného tělesa, popřípadě otáčení jednotlivých motorů, pokud bude třeba.

Ke štítu jsou připojeny 2 řídicí jednotky motorů neboli driverů typu A4988, pomocí kterých jsou řízeny motory. Výstup z desky k motorům je vyřešen pomocí 4 pinů, pro každou cívku motoru 2 piny.

Pro správný chod zařízení je důležité zapojení 2 endstopů, které slouží jako senzory filamentu, bez kterých by nebylo možné přemístit konce filamentu souměrně z obou stran.

## 5.6 Firmware

Pro správný chod zařízení je potřeba napsat kód, který bude celé zařízení řídit. Takový chod musí zahrnovat dílčí ovládání jednotlivých prvků, jako například motorů. Zároveň také je potřeba mít jednotlivé komponenty propojené. Jedno z takových propojení je komunikace mezi endstopem a krokovým motorem. Dále je potřeba dodat uživateli výstupní data ze zařízení, k tomu poslouží propojení elektroniky s displejem. V neposlední řadě je potřeba celé zařízení ovládat, tedy je potřeba naprogramovat správně funkci rotačního enkodéru. Celý firmware je komplexní záležitost skládající se z mnoha částí.

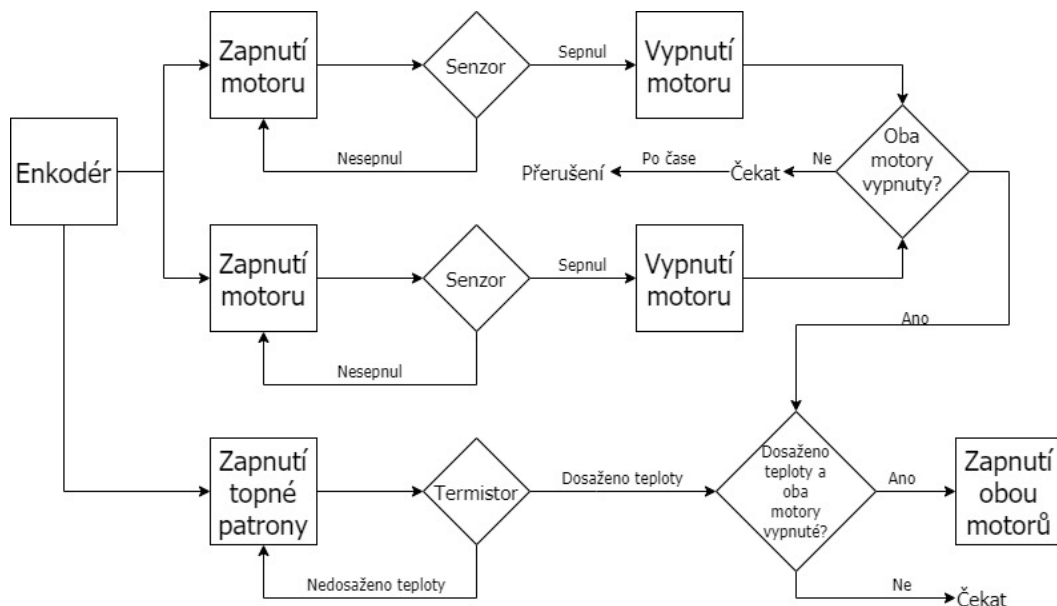
### 5.6.1 Návrh funkce

Zařízení je ovládáno pomocí rotačního enkodéru. Výstup ze zařízení bude zobrazován na displeji. Dále bude možno nastavit parametry podstatné pro správný svár, jako například teplotu, rychlost posunu filamentu motory a délku posuvu obou motorů.

První část programu bude sloužit k pohybu motorů po vložení filamentu. Oba motory se budou po spuštění točit do doby, než sepne endstop neboli mechanický senzor filamentu. Po sepnutí senzorů na obou stranách jsou motory připraveny symetricky podávat materiál.

Souběžně s motory lze nastavit teplotu topného tělesa. Jakmile je nahřáté tavné těleso na požadovanou teplotu, spustí se souběžně oba motory předem definovanou rychlostí. Rychlost posuvu je jedním z parametrů, který ovlivní kvalitu sváru, stejně jako teplota. Ve stejnou dobu se spustí ventilátor na chlazení vstupujícího filamentu. Motory budou rotovat dostatečně dlouho na to, aby filamenty dosáhly středu tavného tělesa a zároveň aby došlo ke spojení obou vláken.

Po skončení předchozí části programu se vypne topné těleso a ventilátor chlazení filamentu bude chladit do doby, než se těleso ochladí na teplotu 30 °C. Po ochlazení je možno otevřít tavné těleso a vytáhnout spojený filament.



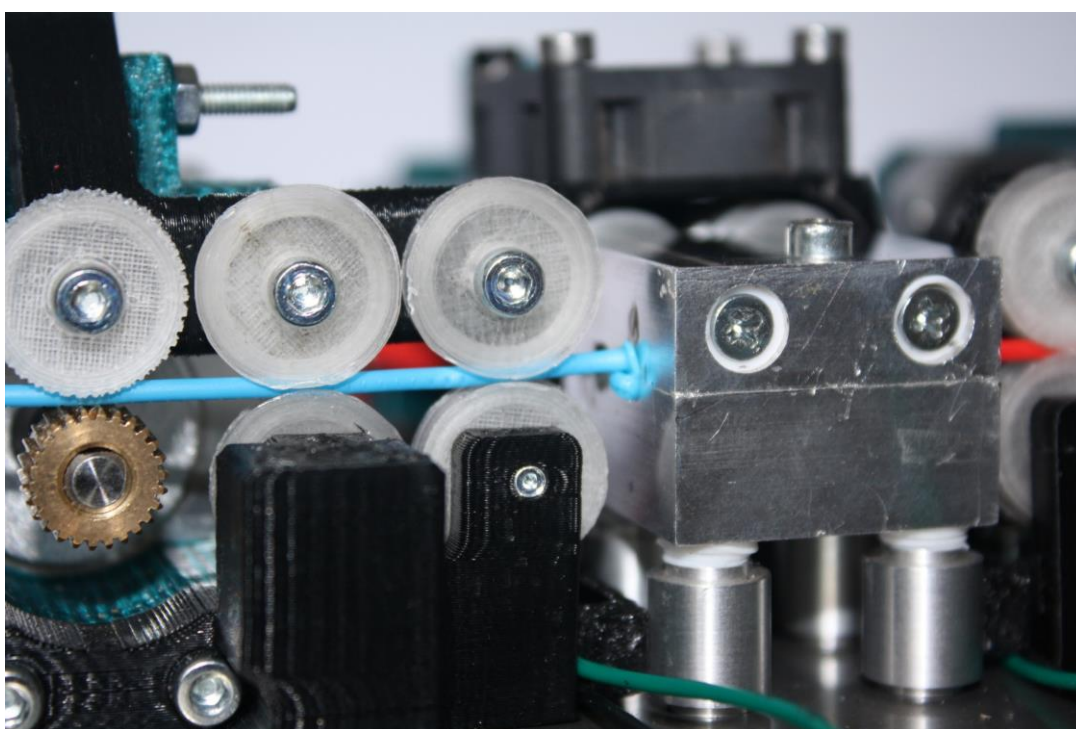
Obr. 5-8 Diagram funkce zařízení



## 6 DISKUZE

V rámci této bakalářské práce bylo navrženo zařízení pro spojování filamentů obou běžně používaných průměrů. Zařízení je poměrně jednoduché na složení, stejně tak i tisk plastových dílů. Jelikož má hmotnost kolem 2,5 kg je i lehké na přenos.

Z provedených experimentů lze poznat, že kladkový vodící mechanismus funguje i když ne vždy. Mezery mezi jednotlivými dvojicemi kladek jsou příliš velké, z tohoto důvodu se tiskové vlákno nevede správně. Napomáhá tomu i mechanický senzor, při jehož sepnutí filament neudrží správný směr. Z tohoto důvodu by byl lepší volbou optický senzor. Dále by bylo vhodné kladky do budoucna nahradit vodícím kanálkem, nejlépe z teflonu. Podavače materiálu fungují bez problémů, stejně tak i regulace přítlaku na páce.

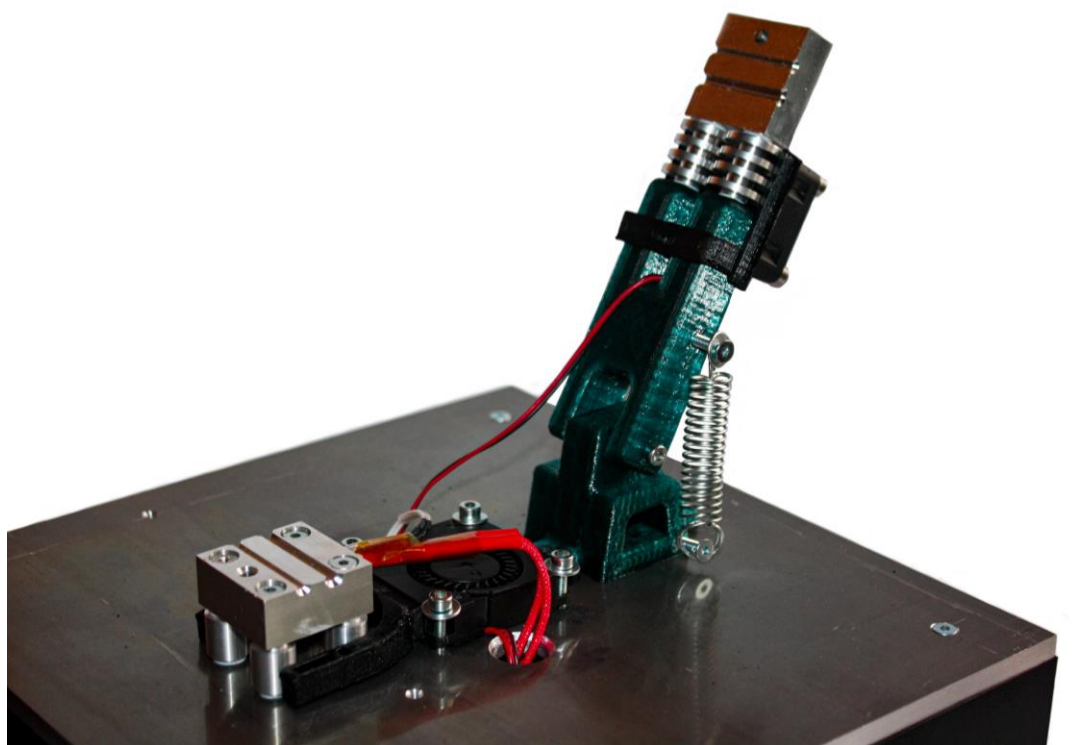


Obr. 6-1 Vodící mechanismus při svařování v uzavřeném topném tělese

Aktivní chlazení mezi ramenem a tavným tělesem je na hraně funkčnosti. Z tohoto důvodu bych volil výkonnější ventilátor, třeba i větší velikosti. Dalším možným řešením by bylo zvětšení chladiče pro lepší odvod tepla nebo zlepšení izolace mezi tavným tělesem a ramenem.

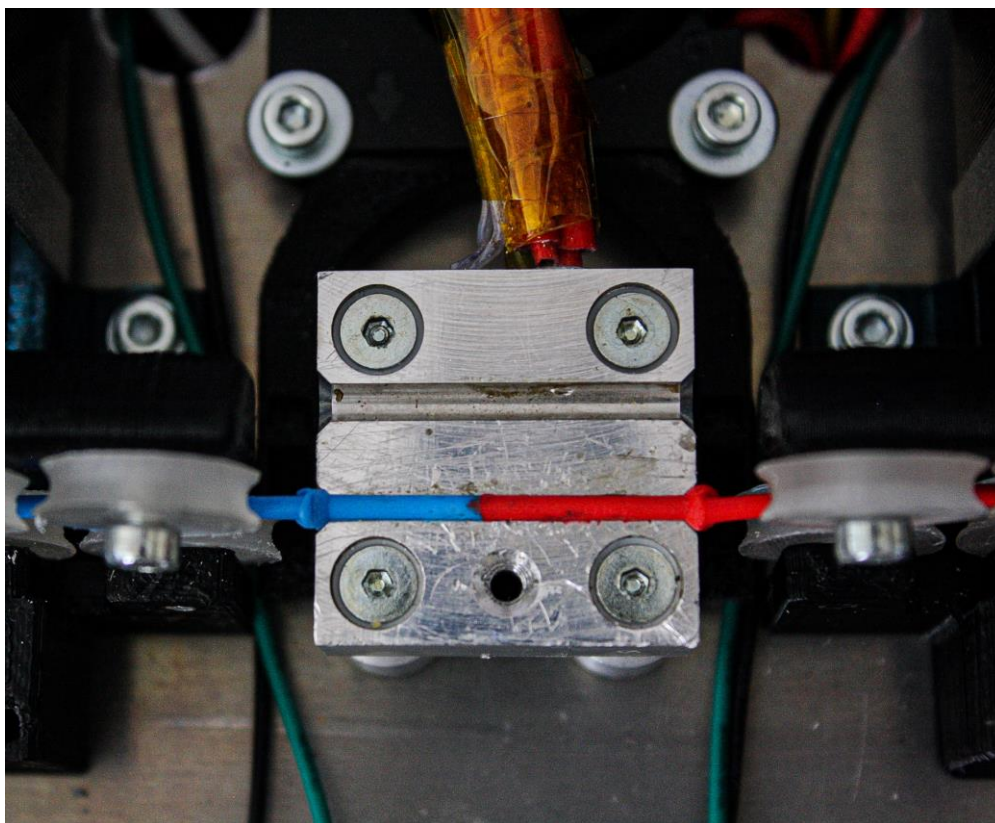


Pružinový dvoupoziční mechanismus mezi stojanem a ramenem splňuje svou funkci, jen je nutné horní díl tělesa přidržovat při dosedání, jelikož pružina urychlí rameno natolik, že by mohlo dojít k poškození některé ze součástí. To by vyřešilo použití malého pístu, který by reguloval rychlost při dosedání ploch.



Obr. 6-2 Tavné těleso v otevřené pozici

Kvalita sváru není taková, jaká byla očekávána. Po vložení filamentu do uzavřeného nahřátého tělesa vznikne v tělese utěsněný prostor, ve kterém se zvyšuje tlak posuvem obou kusů filamentu do středu tělesa. Jelikož tlak v tělese narůstá, tak ve výsledném sváru vzniká dutina, materiál z této dutiny následně vyteče ven z tělesa a vytvoří návalek na tiskové struně. Toto je způsobeno výrobní chybou, při které nebyla vytvořena díra s požadovanou tolerancí H7. Naopak vznikla díra s přesahem, to je možno ověřit vložním filamentu do studeného tělesa. Filament lze do díry protlačit jen pod tlakem a odírá se, tedy díra je menšího průměr, než je vlákno.

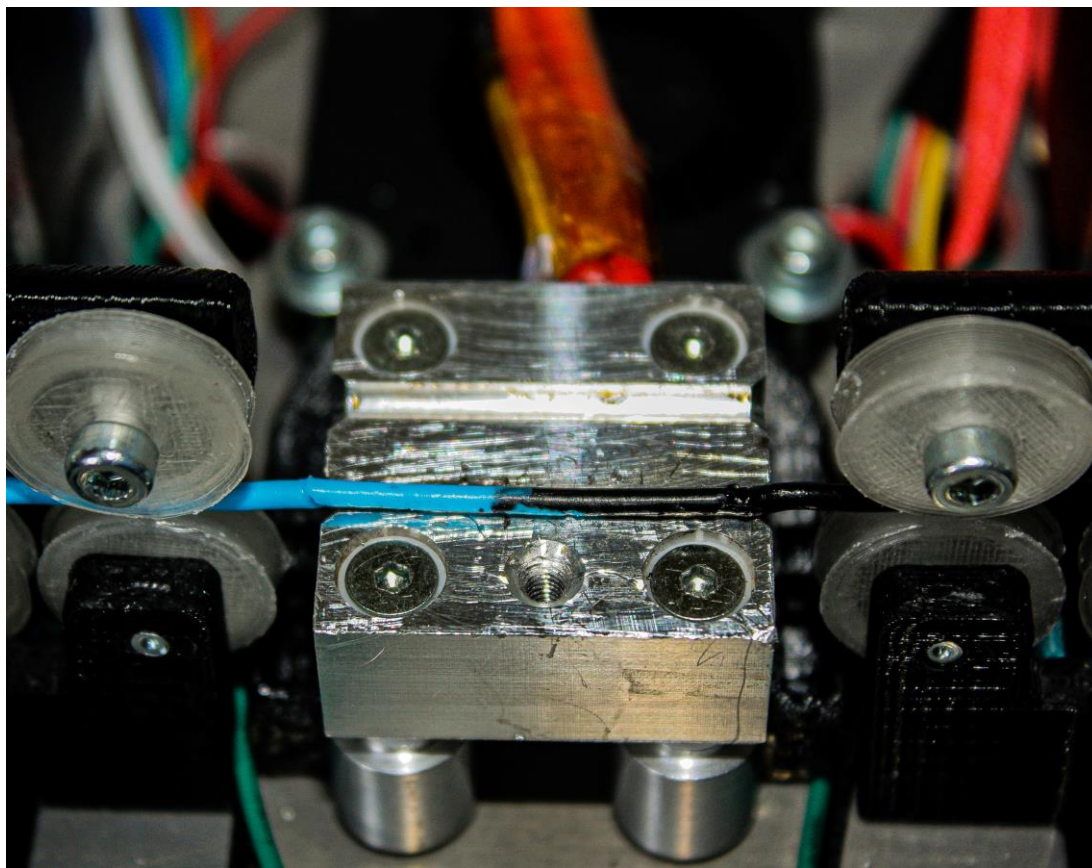


Obr. 6-3 Ukázka sváru v uzavřeném tělese

Jelikož reálný průměr drážek je 1,8 mm a 2,9 mm, na ten byly frézovány, tak je nutné k tomuto rozměru přičíst vliv drsnost povrchu drážek. Drsnost plochy díry je obtížné změřit, ale vzhledem k výrobě třískovým obráběním kulovou frézou lze předpokládat drsnost povrchu  $Ra\ 1,6\ \mu m$ . Při této drsnosti se díra zmenší o  $3,2\ \mu m$  na průměru, čímž vznikne přesah. Tento problém lze vyřešit vystružením po upnutí obou stran tavného tělesa k sobě, použitím adekvátního výstružníku 1,8 mm H7, respektive pro druhý typ filamentu 2,9 mm s tolerancí H7. Zvýšený tlak v tavné oblasti může být odstraněn vytvořením malé odvodušňovací drážky, která by procházela napříč tavným tělesem. Touto drážkou by poté mohl odcházet přebytečný vzduch.

Další zlepšení lze očekávat při správném nastavení vstupních parametrů, jako je například teplota, rychlost podávání filamentu, ale také i chlazení filamentu vstupujícího do tavného tělesa pomocí výkonnějšího radiálního ventilátoru. Dále je po svaření obtížné od sebe obě části tělesa oddělit, díky svařenému filamentu uvnitř, který drží obě části při sobě. Tomuto lze předejít zlepšením výsledného povrchu svařovacího tělesa.

Dalším možným postupem při svařování je vložit oba konce tiskové struny do drážky ve spodní části tavného tělesa za studena. Poté nahřát spodní díl na požadovanou teplotu. Jelikož jsou oba konce filamentu ve styku, tak se začnou spojovat. Za pár vteřin po dosažení tavné teploty je potřeba připojit horní díl tavného tělesa a za tepla přišroubovat. Po zchlazení vznikne slušný svár bez návale a s požadovanou tolerancí.



Obr. 6-4 Ukázka sváru v otevřeném tělese

Naprogramování firmwaru pro toto zařízení si žádá poměrně slušné zkušenosti s programováním, proto je zařízení dočasně ovládáno pomocí počítače skrze program Repetier-Host, popřípadě Pronterface. Tyto programy primárně slouží k manuálnímu ovládání 3D tiskáren, proto je také do zařízení nahrán program pro ovládání 3D tiskárny.

## 7 ZÁVĚR

Hlavní náplní této práce byl návrh a realizace zařízení sloužící ke spojení dvou 3D tiskových strun. Tyto požadavky byly splněny, přestože je zařízení potřeba výrazně vyladit pro kvalitní svár.

V úvodní části práce jsou uvedeny různé typy materiálů pro 3D tisk, také jejich důležité vlastnosti a rozměrové tolerance různých výrobců. Dále jsou uvedeny možné chyby, které mohou nastat při sváření filamentů a také konkrétní zařízení na sváření filamentu, které jsou v současnosti dostupné.

Poznatky získané v úvodní části byly využity pro zpracování koncepčního řešení. Byly vytvořeny modely jednotlivých součástí, které byly následně složeny do sestavy celého zařízení. K jednotlivým dílům byly vytvořeny výkresy součástí a také návrhový výkres zařízení. V kapitole konstrukčního řešení bylo koncepční řešení doplněno o konkrétní výpočty potřebné pro správnou funkci zařízení.

Výstupem práce je vyrobené zařízení, o rozměrech 200x200x160 mm, sloužící ke sváření filamentů obou běžně používaných průměrů. Celková hmotnost zařízení, včetně použité elektroniky, je 2,5 kg, tedy zařízení je lehké pro přenos. Kvůli konstrukci zařízení je možné svařit pouze struny delší jak 70 mm. U tohoto zařízení, na rozdíl od ostatních podobného druhu, je možno nastavit tlak vyvinutý na tavený materiál v tavném tělese. Dále lze regulovat teplotu a pohyb filamentu podle potřeby. Pro praktickou aplikaci by bylo vhodné zařízení upravit tak, aby se urychlil celý proces sváření, například použitím výkonnějších součástek.

## 8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. PRŮŠA, Josef a Martin BACH. *Základy 3D tisku* [online]. Praha: Prusa research, 2019 [cit. 2020-12-20]. Dostupné z: <https://www.prusa3d.cz/wp-content/uploads/zaklady-3d-tisku.pdf>
2. Dkmp Nový Jičín, Ostrava. *Přehled technologií 3D tisku* [online]. Ostrava: DKMP, 2018, 09.01.2018 [cit. 2020-11-29]. Dostupné z: <http://www.dkmp.cz/onas/detail/prehled-technologie-3d-tisku>
3. JORGENSEN, Logan. How to Choose Between Cartesian and Delta 3D Printers. FARGO 3D PRINTING [online]. 2017 [cit. 2020-11-20]. Dostupné z: <https://www.fargo3dprinting.com/choose-cartesian-delta-3d-printers/>
4. YUSUF, Bulent. 3D Printers Explained: Delta, Cartesian, Polar, Scara. All3DP [online]. [cit. 2020-11-21]. Dostupné z: <https://all3dp.com/know-your-fdm-3d-printers-cartesian-delta-polar-and-scara/>
5. Informace o bioplastu PLA. *Eko-plasty* [online]. [cit. 2020-12-21]. Dostupné z: <https://www.eko-plasty.cz/bioplasty-pla/>
6. ROZDÍL MEZI ABS, PLA, PETG. *Materiály a doplňky pro 3D tisk* [online]. Brno, 20.7.2017 [cit. 2020-12-10]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/blog/rozdily-abs-pla-petg/>
7. Co jsou to termoplasty? *Časopis o automatizaci a robotice* [online]. Praha: FANUC Czech, © 2014–2021, 1-1 [cit. 2020-12-19]. ISSN 2533-4271. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/co-jsou-to-termoplasty-6-veci-ktere-byste-o-nich-meli-vedet/>
8. BIQU Filament Welder Connector. Amazon [online]. Seattle, Washington, USA, © 1996-2021 [cit. 2021-03-29]. Dostupné z: [https://www.amazon.com/BIQU-Filament-Connector-Printer-Material/dp/B088TJXTMH/ref=pd\\_lpo\\_328\\_img\\_1/140-1858931-6634651?\\_encoding=UTF8&pd\\_rd\\_i=B088TJXTMH&pd\\_rd\\_r=31c39271-733f-4f2a-b766-f8fa6f015d76&pd\\_rd\\_w=EjErA&pd\\_rd\\_wg=qU4PI&pf\\_rd\\_p=7b36d496-f366-4631-94d3-61b87b52511b&pf\\_rd\\_r=10AQGZKC8KVQN9HX3SKB&refRID=10AQGZKC8KVQN9HX3SKB&th=1](https://www.amazon.com/BIQU-Filament-Connector-Printer-Material/dp/B088TJXTMH/ref=pd_lpo_328_img_1/140-1858931-6634651?_encoding=UTF8&pd_rd_i=B088TJXTMH&pd_rd_r=31c39271-733f-4f2a-b766-f8fa6f015d76&pd_rd_w=EjErA&pd_rd_wg=qU4PI&pf_rd_p=7b36d496-f366-4631-94d3-61b87b52511b&pf_rd_r=10AQGZKC8KVQN9HX3SKB&refRID=10AQGZKC8KVQN9HX3SKB&th=1)
9. HOMOLA, Jan. Potřebujete svařit tiskové struny? *Vše o 3D tisku a aditivní výrobě* [online]. Brno: Nová média, 24. 5. 2015 [cit. 2020-11-15]. Dostupné z: <https://www.3d-tisk.cz/potrebuje-svarit-tiskove-struny/>
10. *Mosaic* [online]. Mosaic Manufacturing, 2021 [cit. 2021-1-16]. Dostupné z: <https://www.mosaicmfg.com/>



11. Tepelná vodivost plastu a kovu. *Sbírka fyzikálních pokusů* [online]. Praha: Karlova Univerzita, 2018, 15.3.2020 [cit. 2021-1-16]. Dostupné z: <http://fyzikalnipokusy.cz/1584/tepelna-vodivost-plastu-a-kovu-i>
12. Kaptonová páska. *Vokolo* [online]. Žamberk: Shoptet, 2021 [cit. 2021-1-20]. Dostupné z: <https://www.vokolo.cz/kaptonova-paska/?variantId=65729>
13. Princip funkce Unipolárního tranzistoru. *Matematicko-fyzikální fakulta Univerzity Karlovy* [online]. Praha: Univerzita Karlova [cit. 2021-1-21]. Dostupné z: [https://physics.mff.cuni.cz/kfpp/skripta/elektronika/kap2/2\\_3\\_2.html](https://physics.mff.cuni.cz/kfpp/skripta/elektronika/kap2/2_3_2.html)
14. Why a consistent diameter is important for 3D printer filament. *Toglefritz's Lair* [online]. 4.2.2019 [cit. 2021-1-25]. Dostupné z: <https://toglefritz.com/why-a-consistent-diameter-is-important-for-3d-printer-filament/>
15. Recyklovaný filament z PET. *EKO MB* [online]. Praha: EKO MB [cit. 2021-1-5]. Dostupné z: <https://www.ekomb.cz/produkt/recyklovany-filament-z-pet-modro-seda-1-kg/>
16. Zapalovače – jaké jsou druhy a který vybrat? *Top-army shop* [online]. Semily: Safety Agency, 2011, 1.3.2018 [cit. 2021-1-14]. Dostupné z: <https://www.top-armyshop.cz/magazin/druhy-zapalovacu>
17. Krokový motor NEMA 17 17HS4401 0,4Nm. *Laskarduino: bastli s láskou* [online]. Rychnov nad Kněžnou: Shoptet, ©2021 [cit. 2021-1-17]. Dostupné z: <https://www.laskarduino.cz/krokovy-motor-nema-17-17hs4401-0-4nm/>
18. Termistorové teplotní čidlo pro 3D tiskárny. *Drátek* [online]. Havlíčkův Brod: © Copyright ECLIPSERA [cit. 2020-12-15]. Dostupné z: [https://dratek.cz/arduino/1118-termistorove-teplotni-cidlo-pro-3d-tiskarny.html?gclid=Cj0KCQiAvvKBBhCXARIsACTePW-rqI94kQcndN\\_3ynwurkWtRR4MHRIuWWVG9KydcXAWWhJNVWbCkOhMaAqd\\_tEALw\\_wcB](https://dratek.cz/arduino/1118-termistorove-teplotni-cidlo-pro-3d-tiskarny.html?gclid=Cj0KCQiAvvKBBhCXARIsACTePW-rqI94kQcndN_3ynwurkWtRR4MHRIuWWVG9KydcXAWWhJNVWbCkOhMaAqd_tEALw_wcB)
19. ZÁKLADNÍ DRUHY VENTILÁTORŮ. *Ventishop* [online]. Praha: Shoptet, ©2021 [cit. 2021-1-5]. Dostupné z: <https://www.ventishop.cz/info-clanky/zakladni-druhy-ventilatoru/>
20. Originální 12V ventilátor pro E3D hotendy 30 x 30 x 10 mm. *Vše pro 3D tisk* [online]. Mělník: Siran 3D Evolution, © 2016–2021 [cit. 2020-12-17]. Dostupné z: <https://www.vsepro3dtisk.cz/p/originalni-ventilator-pro-e3d-hotendy-30-x-30-x-10mm>
21. A4988 DRIVER PRO KROKOVÉ MOTORY S CHLADIČEM. *HW kitchen* [online]. Šenov: Shoptet, © 2021 [cit. 2021-1-20]. Dostupné z: <https://www.hwkitchen.cz/a4988-driver-pro-krokovy-motory-s-chladicem/>
22. SVOBODA, Pavel a Jan BRANDEJS. *Výběry z norem pro konstrukční cvičení*. Doplněné vydání. Brno: CERM, 2016. ISBN 978-80-7204-838-0.

23. DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006, 278 s. : il. ; 28 cm. ISBN 80-7080-617-6.
24. KOČÍ, Michal. Teplovodivá pasta [elektronická pošta]. Message to: [209056@vutbr.cz](mailto:209056@vutbr.cz). 18.04.2021 20:15 [cit. 2021-08-03]. Osobní komunikace
25. LED zdroj 12 V 120 W vnitřní. *T-LED* [online]. Praha [cit. 2021-1-25]. Dostupné z: [https://www.t-led.cz/p/led-zdroj-12v-120w-vnitri-5203?artnr=211&size=211&gclid=CjwKCAjwkN6EBhBNEiwADVfya7eEh5lZgWlOkXe-nZcb0kEiOXwOwaXMmxH58L9kXCYbrWYySDfFWBoCLw4QAvD\\_BwE](https://www.t-led.cz/p/led-zdroj-12v-120w-vnitri-5203?artnr=211&size=211&gclid=CjwKCAjwkN6EBhBNEiwADVfya7eEh5lZgWlOkXe-nZcb0kEiOXwOwaXMmxH58L9kXCYbrWYySDfFWBoCLw4QAvD_BwE)
26. *Materiály* [online]. Brno: Prusa Research, © 2021 [cit. 2021-2-2]. Dostupné z: <https://help.prusa3d.com/cs/materials>
27. Chyby při 3D tisku. *Levné 3D tiskárny* [online]. Frenštát pod Radhoštěm: Levné 3D tiskárny, ©2019 [cit. 2021-2-10]. Dostupné z: <https://www.levne3dtiskarny.cz/cs/content/7-chyby-pri-3d-tisku>
28. Přímý extruder a Bowdenový extruder. *Hessedev* [online]. Crafterthemes [cit. 2021-1-17]. Dostupné z: <https://www.hessedev.com/primy-extruder-a-bowdenovy-extruder/>
29. Martin Zeman, 2018, How to join 3D printer filament, YouTube video, [cit. 2020.12.25]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=TqPFd3-r8>

## 9 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN

### 9.1 Příklady použitých fyzikálních veličin

[t] °C	teplota
[p] Pa	tlak
[A] kJ·m <sup>-2</sup>	rázová houževnatost
[l] m	délka
[τ] s	čas
[a] m <sup>2</sup> ·s <sup>-1</sup>	tepelná difuzivita
[S] m <sup>2</sup>	průřez
[V] U	napětí
[m] kg	hmotnost
[φ] °	úhel
[R] Ω	elektrický odpor
[P] W	výkon
[c] J·kg <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup>	měrná tepelná kapacita
[I] A	elektrický proud
[V] m <sup>3</sup>	objem
[ρ] kg·m <sup>-3</sup>	hustota
[Q] J	teplo
[λ] W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup>	tepelná vodivost



## 9.2 Příklady použitých zkratk

3D	Trojrozměrný
SLS	Selektivní Laserové Sintrování
SLA	Stereolitografie
FDM	Fused Deposition Modeling
PLA	Polyactic acid
ABS	Akrylonitrilbutandienstyren
ASA	Akrylonitril styren akryl
PET	Polyethyléntereftalát
PETG	Polyethyléntereftalát-glykol
HIPS	High Impact Polystyrene
UV	Ultraviolet
RC	Radio Control
PTFE	Polytetrafluorethylen
MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
LCD	Liquid Crystal Display
I2C	Inter Integrated Circuit

## 10 SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

Obr. 2-1 Svářecí přípravek na spojování 3D tiskových strun od firmy BIQU [8] .....	20
Obr. 2-2 Svářecí kleště [9] .....	21
Obr. 2-3 Zařízení Palette od firmy Mosaic [10] .....	22
Obr. 4-1 Schéma zařízení na sváření filamentů.....	25
Obr. 4-2 Popis částí podavače.....	27
Obr. 4-3 Popis vodícího mechanismu .....	28
Obr. 4-4 Popis spoje dílů tavného tělesa .....	29
Obr. 4-5 Popis spoje spodního dílu tavného tělesa s rámem .....	30
Obr. 4-6 Popis spoje horního dílu tavného tělesa s ramenem.....	31
Obr. 4-7 Toleranční interval díry $\varnothing 1,8\text{mm}$ a filamentu $\varnothing 1,75\text{ mm}$ .....	33
Obr. 4-8 Uložení topné patrony ve spodním dílu tavného tělesa .....	34
Obr. 4-9 Schéma zapojení elektroniky .....	36
Obr. 5-1 Složené svářecí zařízení .....	37
Obr. 5-2 Sestavený pravý podavač .....	38
Obr. 5-3 Pravý podavač z boku.....	39
Obr. 5-4 Vodící mechanismus podavače .....	40
Obr. 5-5 Detail tavného tělesa .....	41
Obr. 5-6 Ukázka tavného tělesa při sváření .....	42
Obr. 5-7 Sestava ramene s tavným tělesem a stojanem .....	44
Obr. 5-8 Diagram funkce zařízení .....	47
Obr. 6-1 Vodicí mechanismus při svařování v uzavřeném topném tělese .....	48
Obr. 6-2 Tavné těleso v otevřené pozici.....	49
Obr. 6-3 Ukázka sváru v uzavřeném tělese.....	50
Obr. 6-4 Ukázka sváru v otevřeném tělese .....	51

## 11 SEZNAM TABULEK

Tab. 2-1 Vlastnosti některých typů materiálu. [26] .....	17
Tab. 4-1 Tepelná difuzivita jednotlivých látek. [11] .....	31
Tab. 4-2 Odchyly průměru filamentu od různých výrobců. [14] .....	32

## 12 SEZNAM PŘÍLOH

- I. Digitální data modelu zařízení vytvořená v programu Autodesk Inventor 2020
- II. Výkresová dokumentace
- III. Fotografická dokumentace